



**علم الخلية و البيولوجيا الجزيئية و الاجنة
للفرقة الاولى للتعليم الابتدائى
للعلوم البيولوجية – كلية التربية
الفصل الدراسى الاول ٢٠٢٣-٢٠٢٤**

اعداد

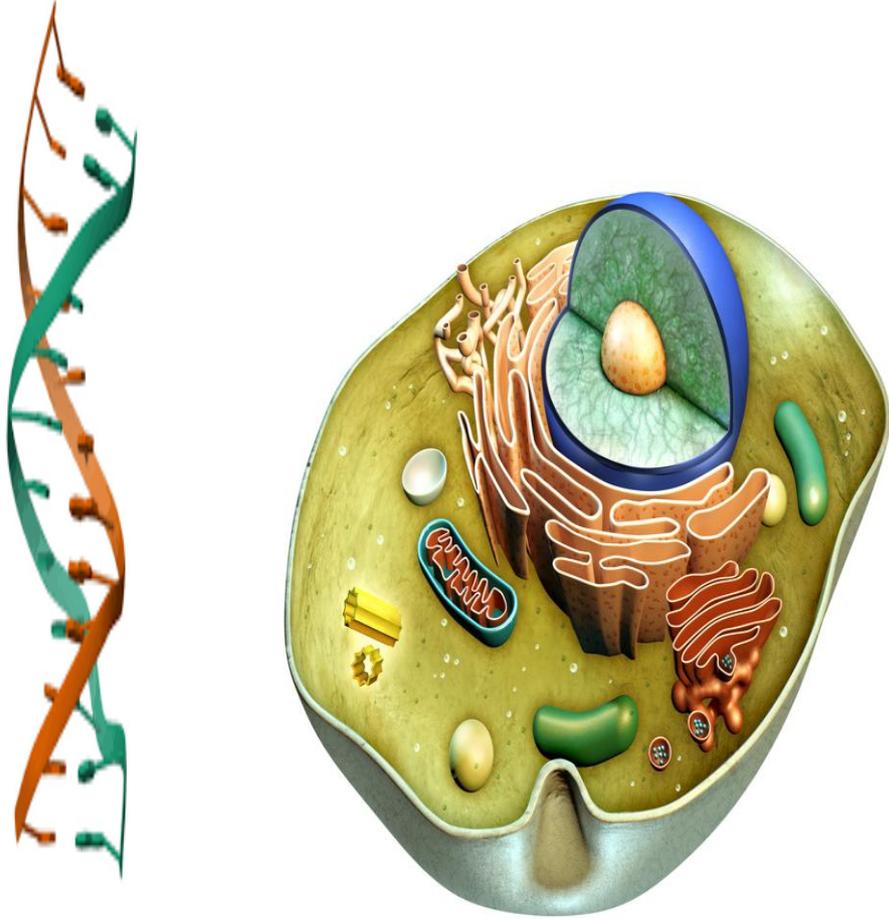
أ.د عبدالباسط مسعود عبيد

استاذ علم الخلية و الوراثة

د. زينب كمال

مدرس علم الاجنة

علم الخلية و الوراثة الجزيئية
Cytology & Molecular Biology



إعداد

أ.د عبد الباسط مسعود عبید
أستاذ علم الخلية والوراثة

أنفسنا و في كل شئ حولنا، فهذا يوضح لنا ما خفى علينا من أسرار و ما أكثر ما يخفى علينا من أسرار. فهل ندرك بحق كيف تعمل هذه الأعضاء (السمع والحس، الابصار والفؤاد) فلو عرفنا ذلك حق المعرفة لاستقر الايمان بقلب المسلم. ايماننا بالله تعالى منزل القرآن ومرسل الرسل ومجازى الناس على أعمالهم كل بما كسبت جوارحه.

والله أسأل أن يتقبل هذا العمل والجهد فانه جهد المقل. وأسأله أن ينفع به ويجعله خالصا لوجهه الكريم. و يجعله ذخرا لي عند انقطاع عملي و انتهاء أجلي و يتجاوز به عن ذلتي و يحو به خطيئتي، انه أهل التقوى و أهل المعرفة.

أ.د / عبد الباسط مسعود عبيد

مقدمة

علم الخلية Cytology

أي علم هذا الذي نتحدث عنه أنه علم الخلية علم تبدأ من عنده و به الحياة.. البقاء.. التواجد.. لأي كائن كان؟ ألا وهو علم بداية ونهاية المخلوقات علم الخلية ويعرف علم الخلية (بيولوجيا الخلية Cell biology) بأنه العلم الذي يتناول بالتفصيل دراسة الخلية Cell و محتوياتها و ما يدور بداخلها من العمليات الحيوية المختلفة و بعبارة أخرى هو العلم الذى يتناول النظام التركيبي و الوظيفي Structural and functional system لمادة البروتوبلازم و علاقة ذلك بالأنشطة الحيوية المختلفة بما فى ذلك نمو الخلايا Growth of cells و التطور Evolution و الوراثة Genetics و غيرها من العمليات المختلفة. لذا فان علم الخلية هو أحد أفرع العلوم البيولوجية Biological Sciences التي تختص بدراسة تركيب الخلايا و كيميائيتها و وظائفها الخلية هى الوحدة التركيبية unit structure و الوظيفية functional للكائن الحي ولقد عكف علماء البيولوجيا فى أبحاثهم فى العصور السابقة وتوصلوا الى أن الكائنات الحيوانية والنباتية تتركب من وحدات تركيبية هى الخلايا .

بعد اختراع الميكروسكوب الضوئي light microscope تمكن العلماء من رؤية وحدات دقيقة جدا tinny units لا ترى بالعين المجردة و قد أطلقوا عليها اسم الخلايا cells. واعتبرت الخلايا هى الوحدات الأساسية essential units للكائنات الحية. لذا يعتبر اكتشاف الخلية أمر هام جدا و بالغ الأثر و ذلك لأننا نعيش فى هذه الأيام ثورة التقدم التكنولوجي Technology و هى الفترة التحليلية الدقيقة للعلم ، و بالتالي أصبح فى حكم المؤكد التعرف على الأنشطة الحيوية vital activities و العمليات المختلفة التى تحدث داخل هذا الكيان الدقيق الذى لا يشاهد بالعين المجردة. و هنا تتجلى يد القدرة الإلهية فى هذا البنيان الدقيق لكي يتأمل كل ذى عقل، من الذى أبدع هذا الكيان و أمره أن يعمل بلا توقف ، بدون صيانة ، بدون قطع غيار . و بعد التعرف على التحليل الدقيق للخلية يتم فصل عناصرها الرئيسية حتى يتمكن العلماء

من التعرف على صور الطاقة المختلفة التي توجد داخل الخلية و التي يطلق عليها مظاهر حياة الخلية.

لمحة تاريخية عن اكتشاف الخلية History of cytology

بعد اكتشاف الميكروسكوب الضوئي light microscope أمكن معرفة الكثير عن اسرار تركيب هذه الكائنات ، ففي عام (١٦٦٥ - ١٦٦٨) وجد روبرت هوك Robert Hooke أثناء فحصه لقطاع رقيق من نبات الفلين تحت الميكروسكوب الضوئي أنه يتركب من حجرات صغيرة small chambers جوفاء أطلق عليها مسمى خلايا cells لشبهها بخلايا نحل العسل و بالتالي أصبح روبرت هوك أول عالم يستخدم لفظ خلية و عرفها على أنها حجرة أو فراغ أو تجويف يحاط بجدار من الخارج و لكنه لم يذكر ما اذا كان هذا الفراغ يحتوى على تراكيب أخرى أم لا يحتوى.

و تسابق العلماء فى التعرف على محتويات الخلية ، ففي عام ١٧٠٠ اكتشف ليفنهوك Leiwin Hooke النواة nucleus داخل الخلية ذلك من خلال مشاهدت كرات الدم الحمراء فى سمك السلمون و بالتالي أصبح تعريف الخلية على أنها تجويف أو فراغ يحتوى على نواة و يحاط بجدار من الخارج ، و أكد العالم روبرت براون Robert Brown (١٨٣١) تواجد النواة داخل كل خلية حيوانية. و فى عام ١٨٣٥ وصف العالم ديجاردن Dejardin محتويات الكائنات الدقيقة بأنها مادة جيلاتينية jelly ، مرنة elastic ، منقبضة contracted ، شفافة clear ، متجانسة homologous و لا تذوب فى الماء insoluble in water و أطلق على هذه المادة التي تمتلك مثل هذه المواصفات لفظ الساركود sarcode .

بينما فى عام ١٨٣٨ أوضح العالم شلايدن Schleidin و هو عالم نباتي أن الخلايا هى الوحدات التركيبية و البنائية للنباتات . . و بالتالي فان شلايدن هو أول عالم يدخل مسمى خلية على الكائنات النباتية و بالتالي فان الأنسجة النباتية ماهى الا تجمعات من الخلايا النباتية، و لــــذا أصبحت الخلية النباتية هى الوحدة التركيبية

للنبات و أيضا بعد عام واحد أى عام ١٨٣٩ توصل عالم الحيوان الألماني شفان Schwann الى نفس النتيجة للحيوان و أصبحت الأنسجة الحيوانية ما هي الا تجمعات من الخلايا الحيوانية clusters of animal cells و أن الخلية الحيوانية هي الوحدة التركيبية للحيوان ، و لقد كان شفان أول من أستخدم مفهوم النظرية الخلوية cell theory و هو أن " الخلايا عبارة عن كائنات حية و أن النباتات و الحيوانات ما هي الا تجمعات من تلك الكائنات مرتبة وفقا لقوانين خاصة و هذا يعنى أن جميع الكائنات الحية حيوانية أو نباتية تتركب أجسامها من خلايا و هناك مجموعة أخرى من العلماء توصلوا الى نفس النتيجة بصورة أقل أو أكثر احتمالا .

و فى عام ١٨٤٠ أطلق بركنجه Perkeinje لفظ بروتوبلازم protoplasm على محتويات الخلية الحيوانية و بعد ست أعوام (١٨٤٦) أقر فون Vonn رأى بركنجه و أستعمل مفهوم البروتوبلازم على محتويات الخلية النباتية. و أيضا قد تحقق العلماء من أن البروتوبلازم هو المكون الاساسى للخلايا فى كل من الحيوان و النبات. و أن جدار الخلية cell wall بالإضافة إلى كونه ميتا - فانه يوجد فقط فى الخلية النباتية plant cell و لا يوجد فى الخلية الحيوانية animal cell . و على ذلك فقد تم تعريف الخلية على أنها كتلة من البروتوبلازم تحتوى على نواة و تحاط بغشاء من الخارج، و لكن هذا التعريف يفتقر الى الدقة للأسباب الآتية ؛ أن بعض الخلايا تحتوى على نواتين او اكثر لا نواة واحدة و بعض الخلايا الأخرى مثل كرات الدم الحمراء كاملة التكوين mature red blood corpuscles لا تحتوى على نواة.

وتوالى بعض ذلك مجموعة أخرى من العلماء بحثا عن اكتشاف جديد يخدم البشرية لمفهوم الخلية التي تمثل عصب الحيوان والنبات ففى عام (١٨٤١) توصل ريماك الى اكتشاف انقسام الخلية المباشر Amitosis، فى حين أن شنيدر فى نفس العام تمكن من اكتشاف الانقسام الميتوزى للخلية Mitosis ولأول مرة فى عام (١٨٥٤) تمكن العالم نيوبورت Newport من رؤية دخول الحيوان المنوي sperm فى بويضة ovum حيوان الضفدعة بينما أوضح هيرتويج (١٨٧٥) اندماج الحيوان المنوى بالبويضة وبهذه الخاصية استطاع العلماء تفهم قوانين الوراثة.

What meaning the cell?

ماهية الخلية؟

الخلية عبارة عن كائن حي لا يمكن مشاهدته بالعين المجردة يتكون من ثلاث مكونات أساسية تجمعات من البروتوبلازم بداخلها نواه أو أكثر أو لا تحتوي وتحاط بغشاء أو جدار من الخارج. هي الوحدة الأساسية التي تتكوّن منها أجسام جميع الكائنات الحيّة، وهي صغيرة الحجم لا يزيد حجم أكبرها عن ١٠٠ مايكرومتر، وهي نوعان: خلايا حقيقية النّواة، وهي الخلايا التي تكون أنويتها محاطة بغشاء، ومن الأمثلة عليها الخلايا المكوّنة لأجسام كل من الطلائعيات، والفطريات، والنباتات، والحيوانات، أما الخلايا بدائيّة النّواة فيها النواة لا تحاط بغشاء نووي، ومن الأمثلة عليها البكتيريا. تحتوي الخلايا الحيوانية على عُضَيّاتٍ مشتركة مع الخلايا النباتية، مثل الغشاء الخلوي، والسيتوبلازم، والنّواة، والميتوكوندريا، والشبكة الإندوبلازمية، وأجسام جولجي، والريبوسومات، وغيرها، كما أنّها تحتوي على عُضَيّات خاصة لا توجد في الخلايا النباتية، مثل الجسم المركزي، والأجسام الحالّة، والأهداب، والأسواط.

هل للخلية أنواع

نعم الخلية نوعان من ناحية النواه، بدائية النواه (الخلية البكتيرية) و حقيقية النواه الخلية الحيوانية و الخلية النباتية)، و نوعان من ناحية المادة الوراثية، خلية جسمية (٢ن) و خلية جنسية (ن) و انواع عديدة من الخلايا تكتسب مسميات الاعضاء التي تكونها (خلية عظمية ، خلية كبدية....) و الذي يظهر من خلالها مفهوم التنظيم الخلوي.

التنظيم الخلوي Cellular organization

الخلية هي الوحدة التركيبية والوظيفية للكائنات الحية ، ولا توجد خلية نموذجية Typical cell وذلك لأن الخلايا تختلف في الشكل والحجم والوظيفة. إذن لابد من توفر ثلاث خصائص رئيسية في الخلية من أجل أن تعيش حياة حرة مستقلة دون الاعتماد علي غيرها هي: وجود الغشاء البلازمي و وجود الجهاز الإنزيمي الخاص بإنتاج الطاقة اللازمة لعمليات البناء و القدرة علي التكاثر.

تطور بعد ذلك علم الخلية ، وتم وضع تصنيف حديث للكائنات الحية اعتمد فيه علي

التنظيم الخلوي، وأدرجت فيه جميع الكائنات الحية عدا الفيروسات في مجموعتين

١- الكائنات ذات الخلايا بدائية النواة Prokaryotic

٢- الكائنات ذات الخلايا حقيقية النواة Eukaryotic

تركبت الفيروسات خارج هذا التقسيم ولا تنتمي إلي أي من الممالك الستة المعروفة كوحيدات مستقلة بذاتها

مقارنة بين الخلايا بدائية وحقيقية النواة

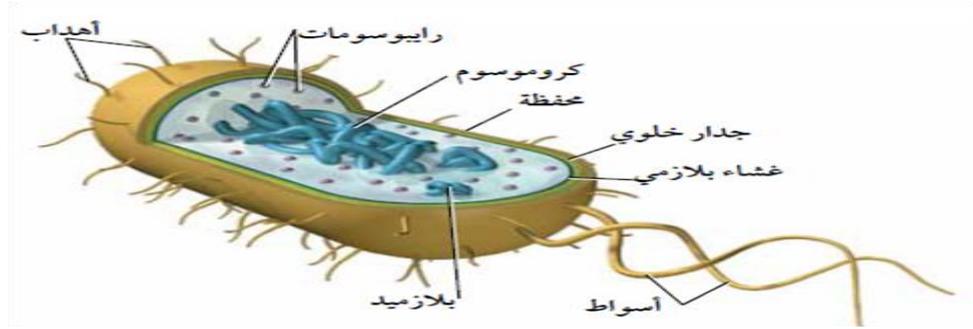
الصفة	الخلايا بدائية النواة	الخلايا حقيقية النواة
حجم الخلية	صغيرة (١ - ١٠ ميكرون)	كبيرة (١٠ - ١٠٠ ميكرون)
التركيب الوراثي	DNA مع بعض البروتين اللاهستوني	DNA متحد مع بروتينات هستونية وغير هستونية
انقسام الخلية	مباشر بالانقسام الثنائي أو التبرعم	الانقسام الميوزي والاختزالي
العضيات السيتوبلازمية	لا توجد..... عدا بعض الريبوسومات	تنتشر في السيتوبلازم وتكون الريبوسومات أكبر حجماً
النظام الجنسي	إن وجد يكون بانتقال الجينات باتجاه واحد	يحدث نتيجة لالتحام الأنوية بالكامل
أعضاء الحركة	الاسواط البسيطة في بعض الأنواع البكتريا	الأسواط أو الأهداب المعقدة
التغذية	الامتصاص بمعظمها، والتمثيل الضوئي لبعضها	الامتصاص، والابتلاع والتمثيل الضوئي ببعضها
طاقة الأيض	الميتوكوندريا غير موجودة	الميتوكوندريا موجودة

البكتريا Bacteria

هي أكبر عائلات بدائية النواة. تنتمي البكتريا إلي مملكة المونيرا Monera.

يمكن تقسيم البكتيريا حسب أشكالها أو حسب نوع تغذيتها ، أو حسب حركتها الخ. تتكاثر جميع أنواع البكتيريا تكاثراً لا جنسياً وإن لوحظ وجود التكاثر الجنسي في بعض أنواعها. تتكون الخلية البكتيرية من الآتي:-

المادة النووية (الكروموسوم الحلقي البكتيري) الذي يحتوي علي المعلومات الوراثية. العصير البلازمي (السيتوسول) ويحتوي علي الريبوسومات والمواد العضوية. جدار الخلية: وهو يعطي الخلية شكلها المعروف وهو رقيق لكنه صلب وشبه نفاذ. غشاء البلازما: هو غشاء شبه نفاذ ويحتوي علي إنزيمات التنفس. المحفظة: وتوجد في بعض البكتيريا ولا توجد في البعض الآخر وتغطي جدار الخلية من الخارج. الأسواط: بعض البكتيريا لاها أسواط وتستخدم في الحركة. الأهداب: عبارة عن استطالات دقيقة تقع حول الخلية.



شكل (٢) الخلية البكتيرية

الخلية حقيقية النواة Eukaryotic Cell

تتكون الخلية حقيقية النواة من كتلة من البروتوبلازم تحتوي على نواة او اكثر او لاتحتوى و تحاط بغشاء من الخارج (الخلية الحيوانية) او بجدار من الخارج (الخلية النباتية).

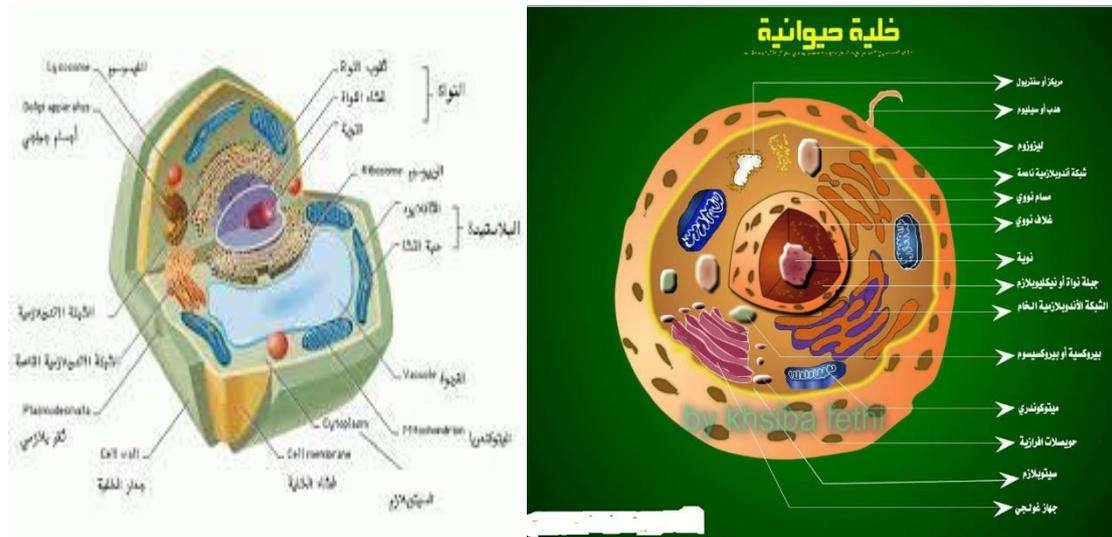
البروتوبلازم Protoplasm

البروتوبلازم هو المادة الحية التي تتكون منها جميع الكائنات الحيوانية و النباتية الحية و بدون البروتوبلازم لا توجد حياة على أى مستوى و لذا قال هكسلى فى

عام (١٨٦٨) مقولة المشهورة أن " البروتوبلازم هو الأساس الطبيعي للحياة " و هذا يعنى أن جميع الأنشطة الحيوية التى يقوم بها الكائن الحى سببها التغيرات الكيميائية و الطبيعية التى تحدث فى البروتوبلازم و يطلق لفظ البروتوبلازم على المواد المختلفة التى يتكون منها السيتوبلازم و النواة و البعض الأخر يطلق لفظ بروتوبلازم على المواد المختلفة التى يتكون منها السيتوبلازم فقط و تختلف مادة البروتوبلازم باختلاف انواع الخلايا و هى مميزة لخلايا الأعضاء و الأنواع.

ومما تجدر الإشارة إليه أن التحسن الذي طرأ على وسائل التقنية الحديثة والفحص والتوضيح للتراكيب الخلوية واستخدام الصبغات الحيوية vital dyes كان له فضل كبير في فتح آفاق جديد واسعة في ابحاث الخلية cell researches.

ومما نلاحظ وجود أشكال تشريحية كثيرة بالنسبة للخلية الحيوانية وذلك لوجود أشكال عديدة للخلية الحيوانية ومنها هذه الاشكال أيضا.



شكل (٣) الخلية الحيوانية

التركيب الكيميائى للبروتوبلازم

لا يمكن التعرف على التركيب الكيميائى الدقيق للبروتوبلازم اذ لا يمكن تحليل البروتوبلازم دون قتله بواسطة مواد كيميائية و بالتالى تحدث تغيرات كيميائية ينتج

عنها مواد جديدة أو اختفاء مواد من المكونات الأساسية للبروتوبلازم •• كما أن البروتوبلازم أثناء النشاط العادي للخلية يخرج إفرازات secretions و بذلك لا يكون تحليله تحليلًا دقيقًا •• بجانب ذلك كما تحدثنا من قبل البروتوبلازم يختلف من خلية إلى أخرى مثال بروتوبلازم الخلية الكبدية hepatic cell يختلف عن بروتوبلازم الخلية العصبية nerve cell و هكذا • و بالرغم من ذلك فقد أثبتت التحاليل الكيميائية أن البروتوبلازم في جميع الأنسجة الحيوانية animal tissues يحتوى على العناصر بنسب متفاوتة (الكالسيوم Calcium و الحديد Iron و البوتاسيوم Potassium و الكبريت Sulphate و الصوديوم sodium و الماغنسيوم Magnesium و الفوسفور Phosphor و غيرها من العناصر) كما أنه يحتوى على الكربون Carbon و الهيدروجين Hydrogen و الأكسجين Oxygen و الأزوت بنسب مختلفة • و تتحد هذه العناصر مع بعضها البعض مكونة نوعين من المركبات، العضوية organic components (البروتينات proteins - الدهون fats (lipids)- الكربوهيدرات carbohydrates- الأحماض النووية Nucleic acids) و غير العضوية inorganic components (الماء water و الأملاح المعدنية (mineral salts) •

أولاً: المركبات العضوية في الخلية

يقصد بالمركبات العضوية المركبات التي لا بد أن تحتوى على كل من الهيدروجين H و الكربون C مع وجود أى عناصر أخرى • و تحتوى الخلية الحيوانية على أربعة أنواع من المركبات العضوية هي :-

المواد البروتينية Proteins

المواد البروتينية هي أكثر المواد العضوية تواجداً و انتشاراً في البروتوبلازم الحيوانى و من الصور المميزة للمادة الحية هي المواد البروتينية • و تشمل المواد البروتينية على المكونات الآتية :- الكربون C و الهيدروجين H و الأكسجين O و النيتروجين N بالإضافة إلى عناصر أخرى توجد بنسب ضئيلة مثل الكبريت S و الفوسفور PH و الكالسيوم Ca و غيرها من العناصر الأخرى • جزيئات البروتين معقدة التركيب و

أبسط وحداتها التركيبية هي الأحماض الأمينية. و تستطيع الأحماض الأمينية أن تتحد فيما بينها و أيضا مع مواد أخرى لتعطي عدد هائل من المواد البروتينية و الذى معه من الصعوبة وضع تصور حقيقى لتركيب البروتوبلازم . و هذه الوحدات البسيطة للبروتينات ما هي الا أحماض عضوية تحتوى على الأحماض الأمينية تكون سلسلة طويلة منها باتحادها مع بعضها البعض.

البروتينات proteins ← البروتيازات proteases ← الببتونات peptones ← عديدة الببتيدات polypeptides ← ثنائية الببتيدات dipeptides ← الأحماض الأمينية amino acids.

وتمر هذه الأحماض الأمينية amino acids الى الدورة الدموية التى تحملها الى الخلايا التى تحولها الى بروتينات حيوانية شبيهه ببروتينات الجسم و ذلك تحت تأثير انزيمات خلوية خاصة . و من هنا نجد أن لكل خلية مجموعة من البروتينات الحرة و التى تختار منها الخلية ما تحتاج اليه لتبنى لنفسها البروتينات اللازمة و الضرورية و تسمى هذه البروتينات " بركة الخلية cell pool " .

الاحماض الامينية واقسامها

الأحماض الأمينية هي وحدات البناء الرئيسية للبروتين و الببتيد، فالأحماض الأمينية هي مجموعة من المركبات العضوية متكونة من مجموعة أمين ($-NH_2$) على الأقل مشتبكة مع مجموعة كربوكسيل ($-COOH$) و ينتج التمثيل الغذائي في جسم الإنسان عدداً كبيراً من الاحماض الأمينية المختلفة.

١- احماض امينية اساسية : هي التى لا يستطيع الانسان تكوينها داخل جسمه ويجب اضافتها للغذاء حتى ياخذ الجسم كفاية منها و هي ثمانية احماض (الفالين، ليوسين، تربتوفان)

٢- احماض امينية شبه اساسية: يستطيع الجسم تكوينها ولكن بكميات غير كافية (هستيدين، ارجينين).

٣- احماض امينية غير اساسية :- وهى احماض امينية عادية يمكن للجسم ان يكونها او ياخذها من الغذاء وتمثل بقية الاحماض الامينية .

٤- الاحماض الامينية المضادة وهى احماض امينية عادية ولكن تغير تركيبها وبذلك تتعطل التفاعلات الكيميائية الخاصة بالحمض الامينى ومثال ذلك إيثونين وفيه تحل مجموعة ايثايل محل مجموعة ميثايل فى حمض ميثيونين.

أنواع البروتينات Types of proteins

تصنف البروتينات على أساس

أولاً: طبيعة نواتج التحلل للمواد البروتينية المعقدة الى ثلاثة أنواع:-

١- بروتينات بسيطة Simple proteins

تحلل هذا النوع من البروتينات يعطى أحماض أمينية amino acids فقط و من هذه أمثلة ذلك ما يلى :-

أ- الهستونات Histones :- و من أهم ما يميزها أنها تذوب فى الماء و لكن لا تذوب فى الأمونيا المخففة و تلعب دور هام فى تركيب الكروموسومات الحاملة للمادة الوراثية المسؤولة عن انتقال الصفات الوراثية من الاباء الى الابناء و اظهر الصفات الوراثية.

ب - الألبومينات Albumines :- بروتينات تذوب فى الماء و أيضا تتجلط اذا تعرضت للحرارة • توجد فى مصل الدم و تقوم بنقل الاحماض الدهنية بين الانسجة و الاعضاء.

ج - الجلوبيولينات Globulins :- و هذا النوع من البروتينات يذوب فى الأحماض و القلويات و محاليل الملح و لكنه لا يذوب فى الماء • عبارة عن مجموعة من البروتينات فى الدم مصنوعة فى الكبد عن طريق الجهاز المناعي. تلعب الجلوبيولين دور مهم فى وظائف الكبد و تجلط الدم و محاربة العدوى. يمكن استخدام اختبارات الجلوبيولين للمساعدة فى تشخيص مجموعة متنوعة من الحالات، مثل تلف الكبد أو مرض فى الكبد، مرض فى الكلية، اضطرابات المناعة الذاتية وأنواع معينة من السرطان.

د – البروتامينات Protamines :- تذوب فى الماء و لكن لا تتجلط بالحرارة . تلعب دور هام جدا فى عملية نقل الصفات الوراثية من خلية الى اخرى و كذلك فى تنظيم بعض التفاعلات الحيوية.

٢ - البروتينات المرتبطة Conjugated proteins

و تحتوى على الأنواع التى يمكن فيها أن تتحد البروتينات البسيطة مع مواد أخرى مثل:-

أ- البروتينات السكرية Glycoproteins :- وتكون فيها البروتينات متحدة مع مادة كربوهيدراتية •

ب - البروتينات النووية Nucleoproteins :-

نتيجة من إتحاد البروتين مع الحمض النووى • و تعد هذه البروتينات المكون الأساسى للكروموسومات و تختلف الكائنات الحية تبعا لأختلاف محتوياتها من البروتينات.

ج- البروتينات الدهنية Lipoproteins و هى ناتجة من إتحاد البروتين مع الدهون.

٣- البروتينات المشتقة Derived proteins

و هى عبارة عن بروتينات معقدة حدث لها تحلل جزئى مثل تحلل البروتينات الى بروتيازات و البروتيازات الى ببتونات و هكذا •

ثانيا: تقسيم البروتينات من حيث الشكل

أ- بروتينات ذات شكل ليفى Fibrous وتتكون من عدة سلاسل ببتيدية تتقارب طوليا وتلتف كل سلسلة حلزونيا على امتداد طولها وتتميز بوزن جزيئ مرتفع ومقاومة للذوبان بالمحاليل المائية ومن امثلة هذا النوع كيراتين الصوف والشعر والجلد وبروتين الحرير وميوسين ولاكتين العضلات حيث يقوم بعمل ميكانيكية انقباض العضلات ومنها ايضا فبرينوجين الدم وهو المسئول عن تكوين جلطة الدم وعموما

البروتينات التي يكون فيها النسبة المحورية بين طول الجزيء وعرضه أكثر من عشرة تعتبر ليفية الشكل.

ب- بروتينات كروية الشكل Globular تتكون من عدة سلاسل ببتيدية متكلسة ومندمجة على بعضها وتتميز بوزن جزيئي صغير نسبيا عن الليفي ويسهل بلورتها ومن أمثلتها الانسولين والهيموجلوبين والانزيمات والهرمونات وغالبا تكون ذائبة في المحاليل المائية للاملاح والاحماض والقلويات وعموما فنسبتها المحورية الطول/العرض اقل من عشرة وعادة تكون ما بين (٢-٤).

لكل عضو في الجسم القدرة على اختيار الاحماض الامينية اللازمه له والتي يمكنه بواسطته بناء البروتين الخاص بها اما باقى الاحماض الامينية الزائدة عن الحاجة فتتحول الى مركبات نيتروجينية وخاصة اليوريا الذي يتخلص منها الجسم عن طريق خروجها في البول ويجب ملاحظة ان الاحماض الامينية وكذلك المركبات البروتينية الزائدة عن حاجة الجسم في بناء الخلايا اللازمة لنموه لاتخزن اطلاقا بالجسم بل يتخلص منها باستمرار ولما كانت الاحماض الامينية هي المصدر الوحيد للنيتروجين اللازم للانسان او الحيوان لذلك فهي تدخل في تكوين بعض المركبات النيتروجينية اللابروتينية اللازمة للجسم مثل املاح الصفراء والكرياتين والبيريميدين والهرمونات والسكريات الامينية وغيرها.

مصادر البروتينات Sources of proteins

يوجد مصدران للبروتينات أحدهما حيواني وهو عبارة عن اللحوم بأنواعها والأسماك والطيور والبيض بينما المصدر الثاني فهو نباتي مثل البقوليات بأنواعها المختلفة؛ الفول - العدس - البسلة الفاصوليا - اللوبيا وغيره.

وظائف البروتينات Functions of proteins

تلعب البروتينات دور هام و حيوي بالنسبة للكائن الحي حيث :-

١- تستخدم كمصدر حقيقي للنمو باضافتها الى بنيان الجسم .

٢- تعمل على تعويض التالف من الألياف البروتينية بالجسم .

٣-تساهم فى تخليق الهرمونات •

٤-لها المقدرة على الاتحاد مع عناصر و مواد أخرى لتكوين مركبات هامة للجسم مثل اتحادها مع الحديد لتكوين الهيموجلوبين و غيرها •

المواد الكربوهيدراتية Carbohydrates

هى مركبات تتكون من الأوكسجين و الهيدروجين و الكربون و يوجد العنصران الأوليان بنفس نسبة تواجدهما فى الماء • و توجد هذه المواد فى صورة معقدة مثل النشا الحيوانى (الجليكوجين Glycogen) و النشا النباتى و السليلوز cellulose.

أنواع المواد الكربوهيدراتية Types of carbohydrates

يمكن تقسيم المواد الكربوهيدراتية الى ثلاثة أنواع : - مواد أحادية التسكر monosaccharides و ثنائية التسكر disaccharides و عديدة التسكر polysaccharides و تعرف المواد الأحادية و الثنائية بالمواد السكرية نظرا لمذاقها الحلو • لذا فهى أيضا لها قابلية للانتشار خلال الأغشية المشبعة و أيضا لها قابلية للذوبان فى الماء • أما المواد عديدة التسكر لا تنتشر خلال الأغشية المشبعة و لا تتبلور و تكون محاليل غروية مع الماء.

المواد أحادية التسكر monosaccharides

هى سكريات بسيطة و أهم هذه المركبات فى الخلية الحيوانية هى السكريات الخماسية pentose و السداسية hexose و هى توجد متحدة بالبروتينات و الدهون و تمثل السكريات الخماسية المكون الأساسى للكروماتين النووى nucleoprotein و بالتالى هى المسؤلة عن تكوين الأحماض النووية (حامض الريبو نيوكليك Ribonucleic acid و الدى أكسى ريبونيوكليك Deoxyribonucleic acid) بينما السكريات السداسية هو المسؤل عن توفير الطاقة الحيوية اللازمة للجسم •

المواد ثنائية التسكر disaccharides

و هى تتكون من اتحاد جزئين من السكريات الأحادية مع فقدان جزئى من الماء و من أهم هذه الأنواع سكر اللبن (اللاكتوز lactose) و يتكون من جزئين من الجلوكوز

و الجلاكتوز ؛ سكر الشعير (المالتوز maltose) و يتكون من جزئين من الجلوكوز فى حين أن سكر القصب (السكروز sucrose) يتكون من جزئين هما الجلوكوز و الفراكتوز .

المواد عديدة التسكر polysaccharides

تتكون من اتحاد عدة جزئيات من السكريات وحيدة التسكر مع فقدان جزئيات من الماء . و من أهم المواد عديدة التسكر النشا النباتى (و يمثل المواد الكربوهيدراتية المختزلة فى الخلايا النباتية و يتم تكوينه من ثانى أكسيد الكربون و الماء فى وجود الكلورفيل) و السليلوز النباتى cellulose (و هو المكون الأساسى لجدر الخلايا النباتية و يشارك أيضا فى تكوين التراكيب المسؤلة عن تكوين الدعامة الهيكلية للنبات) و النشا الحيوانى و يمثل المواد الكربوهيدراتية المختزلة فى الخلايا الحيوانية و هى تمثل أهمية بالغة للحيوان و برغم تواجده فى كثير من أنسجة الجسم الا أن الجزء الأكبر منه يوجد فى الكبد liver يمثل ٣ % من وزن الكبد " و العضلات muscles و يعرف بالجليكوجين glycogen و الجليكوجين الى حد ما قابل للذوبان فى الماء و من المحتمل أن يذوب فى البروتوبلازم و يمكن توضيحه فى الخلايا الكبدية من خلال نوعية معينة من الصبغات dyes فهو يعطى لون أحمر مع صبغة بست كارمين.

وظيفة الكربوهيدرات

١- على الرغم من أن معظم خلايا الجسم يمكنها تفكيك المركبات العضوية الأخرى للحصول على الطاقة، إلا أن جميع خلايا الجسم يمكنها استخدام الجلوكوز. علاوة على ذلك، فإن الخلايا العصبية (الخلايا العصبية) فى الدماغ والحبل الشوكي ومن خلال الجهاز العصبي المحيطي وخلايا الدم الحمراء، يمكنها استخدام الجلوكوز فقط للحصول على الطاقة.

٢- تكوين الإطار الهيكلي للـ RNA و DNA (الحمض الريبى النووي والحمض النووي الريبى منقوص الأكسجين).

٣- تكوين العناصر الهيكلية في جدران الخلايا النباتية (السليولوز) والغشاء الخلوي للحيوانات.

٤- تتواجد الكربوهيدرات بكميات قليلة جداً في بنية الخلايا، فمثلاً ترتبط بعض جزيئات الكربوهيدرات مع البروتينات لتنتج البروتينات السكرية، وبعضها الآخر يتحد مع الدهون لينتج الدهون السكرية، وكلاهما موجود في الغشاء الذي يحيط بمحتويات خلايا الجسم.

٥- تناول ما يقرب من ٢٥ إلى ٣٠ جراماً من الألياف الغذائية يومياً يمكن أن يقلل من خطر الإصابة ببعض الأمراض المزمنة، مثل مرض السكري من النوع ٢، وأمراض القلب والأوعية الدموية، وسرطان الثدي، وسرطان القولون والمستقيم.

٦- تناول السوائل الغنية بالكربوهيدرات قبل الجراحة يقلل من فقدان الطاقة في الجسم بعد العمليات الجراحية، مع الحفاظ على درجة حموضة المعدة ومستويات الجلوكوز في الدم.

٧- تناول الألياف الغذائية بشقيها الكربوهيدرات القابلة للذوبان وغير القابلة للذوبان يساعد في تقليل خطر الإصابة بالسمنة.

الأحماض النووية Nucleic acids

الأحماض النووية عبارة عن مركبات كيميائية بالغة الأهمية، و هي توجد في جميع الكائنات الحية و يحتوى الكائن الحى على حامض واحد على الأقل ٠ فتحتوى بعضها على حامض دى أكسى ريبونيوكليك فقط كالبكتريا أما الحيوانات و النباتات الراقية فتحتوى على الحمضين معا الريبونيوكليك Ribonucleic acid و دى أكسى ريبونيوكليك Deoxyribonucleic acid ٠ و يوجد حامض دى أكسى الريبونيوكليك فى النواة nucleus و الميتوكوندريا و البلاستيدات فقط و يكون معظم التركيب الكروموسومى (من ٩٠% - ٩٥%) و ذلك عندما تكون الخلية فى حالة انقسام division بينما تكون الخلية فى فترة الراحة أو الفترة البينية interphase stage فيوجد حامض دى أكسى الريبونيوكليك فى الخيوط الكروماتينية ٠ و فى النواة

nucleus يتحد حامض دى أكسى الريبونيوكلريك مع البروتينات (الببتونات و البروتامينات) مكونا البروتينات النووية nucleoprotein •
أما حامض الريبونيوكلريك فيوجد فى مناطق مختلفة منها السيتوبلازم cytoplasm و النواة nucleus • يوجد فى النواة بكميات قليلة فى النوية nucleolus و الكروماتين chromatin و الكروموسومات chromosomes بينما يوجد بكميات كبيرة فى السيتوبلازم حيث يكون جزءا كبيرا من الريبوسومات ribosomes • و أيضا تكون المواد الكربوهيدراتية مع بعض المواد الأخرى مركبات معينة مثل الأحماض الأمينية amino acids و البروتينات proteins و هذه المواد ذات أهمية خاصة فى تكوين الأحماض النووية nucleic acids • و تمثل الاحماض النووية بطاقة الهوية لكل كائن حى تحمل من خلالها الجينات المسؤولة عن اظهار الصفات الوراثية (الجسدية و الجنسية) لكل كائن حى.

مكونات الأحماض النووية Components of nucleic acids

أبسط الوحدات التى تتكون منها الأحماض النووية nucleic acids هى النيوكليوتيدات nucleotides التى تتكون من ثلاثة جزيئات جزىء سكر خماسى (ريبوز ribose أو دى اكسى ريبوز deoxyribose) و جزىء حامض فوسفوريك phosphoric acid و جزىء نيتروجين قاعدى (بيريميدين pyrimidine bases أو بيورين purine bases) • السكر الخماسى و النيتروجين القاعدى يعرفا بالنيكلوسيد nucleoside و القواعد النيتروجينية البيريميديه عبارة عن سيتوسين cytosine و الثيمين thymine و اليوراسيل uracil فى حين أن القواعد النيتروجينية البيورينية تتكون من الأدينين adinine و الجوانين guanine و يحتوى كل من الحمض النووى DNA و الحمض النووى RNA على الأدينين و الجوانين و السيتوسين بالإضافة الى ذلك يحتوى حمض DNA على الثيمين بينما يحتوى حمض RNA على اليوراسيل.

المواد الدهنية Fats

هي مواد تمثل مصدر اخر للطاقة و بالتالي تتكون من نفس العناصر المكونة للمواد الكربوهيدراتية و هي الهيدروجين و الأوكسجين و الكربون و غيرها من العناصر الأخرى، و يحتوى البروتوبلازم على الدهون الحقيقية True fats و مشتقاتها و المواد الدهنية غير قابلة للذوبان فى الماء و لكن تذوب فى المذيبات العضوية Organic solvents مثل البنزين و بعض من المذيبات الأخرى.

أهمية الدهون Function of lipids

تلعب الدهون دور حيوي وهام داخل أنسجة الجسم و يتوقف هذا الدور على مكانها و الصورة الموجودة عليها، فمثلا الجليسيريدات تعمل كمصدر للطاقة الحرارية و حصن أمان ضد البرودة و المساعدة فى مقاومة أى أذى يلحق بالجسم فى حين أن الفوسفوليبيدات phospholipids توجد داخل النسيج العصبي و تكون مسئولة عن تكوين مادة الميلين و التى من خلالها تعرف الليفة العصبية هل هى ميلينية أو غير ميلينية و تتحول الدهون الى مستحلب دهنى Emulsifie بواسطة أحماض العصارة الصفراوية مما يسهل من عملية هضمها بصورة أولية و بعض الدهون تلعب دور هام فى المحافظة على تنظيم الاداء الميكانيكى للجلد و الشعر مثل الكوليسترول .

و يوجد نوعان من الدهون فى أنسجة الجسم، دهون متعادلة Neutral fats و الفوسفوليبيدات و الثانى يمثل الدهن الحقيقى للبروتوبلازم و الدهون الحقيقية لا تتأثر بالعوامل المختلفة فعلى سبيل المثال فى حالة الجوع تتناقص كمية الدهون المتعادلة فى أنسجة بينما لا تتأثر الدهون الحقيقية (الفوسفوليبيدات) فعلى سبيل المثال الدهون التى توجد فى أنسجة المخ دهون حقيقية و بالتالى أثناء فترة الصوم Fasting لا تتأثر و ايضا نجد أن الكبد يمثل المحور الرئيسى للدهون داخل الجسم ففى حالات التسمم يزداد معدل الدهون فى الكبد بصورة كبيرة مع أن الكبد يلعب دور بالغ الأهمية فى عملية أيض الدهون . يحتوى الكبد فى الصورة الطبيعية على ٤ % ليبيدات (١ : ٣ دهون متعادلة و فوسفوليبيدات) و يزداد معدل الدهون فى الكبد خلال الفترة الأولى

من عملية الصيام و ذلك لأن المواد الدهنية تنتقل من مخازن الجسم الى الكبد لأكسدتها
ثم بعد ذلك تأخذ الدهون فى الكبد فى التناقص تدريجيا .

ثانيا- المكونات غير العضوية Inorganic components

يحتوى البروتوبلازم على المكونات غير العضوية فى صورة أملاح متحدة مع المواد
العضوية Organic components فهى تتحد مع المواد البروتينية (الأحماض
الأمينية) مكونة بعض الهرمونات Hormones (الثيروكسين Thyroxine) أو
بعض المركبات الأخرى (الهيموجلوبين) و يختلف تركيز هذه العناصر داخل الخلية
عن خارجها .

الأملاح المعدنية Mineral salts

و هى عبارة عن الأملاح غير العضوية inorganic salts التى توجد مذابة فى
البروتوبلازم و السوائل الجسمية مكونة تقريبا ١ % من وزن الجسم و من أمثلتها
كلوريد البوتاسيوم و كلوريد الصوديوم و فوسفات الكالسيوم و كربوناته و غيرها من
الأملاح الأخرى . الأملاح المعدنية تلعب دورا هاما و حيويا فعلى سبيل المثال اذا
نقصت كمية الكالسيوم عن معدلها العادى فى الدم قد تودى الى الوفاة و ايضا فى حالة
نقص كل من الصوديوم و البوتاسيوم عن نسبتتهما المألوفة فى الجسم فان القلب و
العضلات لا يمكنهما أداء وظائفهما بالصورة الطبيعية هذا بالإضافة الى الأهمية التى
يعرفها العامة قبل المتخصصين و هى أن الأسنان و العظام تتكون بصفة أساسية من
أملاح الكالسيوم.

الماء Water

يقول المولى عز و جل فى كتابه الكريم " بسم الله الرحمن الرحيم و جعلنا من الماء
كل شىء حى صدق الله العظيم " . نفهم من الآية الكريمة أن الماء هو كل شىء فى
الحياة و لذا نجد أن كل خلية تحتوى على من ٦٠% الى ٩٠% ماء تقريبا . فعلى
سبيل المثال لا الحصر يستخدم الماء كمذيب لعدد من المركبات المختلفة كما أنه الوسط
الذى لا بد منه لحدوث غالبية ان لم يكن جميع العمليات الفسيولوجية كالهضم و التنفس

و الاخراج و الأمتصاص و الأخراج و غيرها من العمليات الأخرى المختلفة الى جانب ذلك يعمل الماء على حماية الجسم من التغيرات المفاجئة فى درجات الحرارة.

و تختلف كمية الماء من نسيج الى آخر ، فالنسيج العظمى للإنسان يحتوى تقريبا على ١٠% بينما يحتوى النسيج العضلى على ٧٥% تقريبا و حتى فى العضو الواحد تختلف كمية الماء من نسيج الى نسيج فعلى سبيل المثال يحتوى نسيج المادة البيضاء فى المخ على ٦٨% فى حين أن نسيج المادة السنجابية للمخ يحتوى على ٨٤% تقريبا من الماء . أيضا تختلف كمية الماء لنفس النسيج لعمر النسيج ، فالنسيج فى الأطوار الجنينية يحتوى على نسبة عالية من الماء عنه فى مرحلة الشيخوخة فعلى سبيل المثال كمية الماء فى مخ الفأر الصغير قد تصل الى ٩٠% من وزن المخ بينما تصل الى ٧٥% من وزن المخ للفأر البالغ و بالتالى نسبة الماء داخل النسيج ترتبط بالأداء الوظيفى للنسيج .

السيتوبلازم

السيتوبلازم مادة لزجة (شبيهة بالهلام) محاطة بغشاء الخلية، يتكون من السيتوسول بالإضافة إلى المشتملات و عدد من العضيات الخلوية ذات الوظائف المختلفة.

مكونات السيتوبلازم

أ- مادة السيتوبلازم (السيتوسول) : مادة لزجة تحتوي على الماء والبروتينات والكربوهيدرات والأنزيمات والأملاح غير العضوية.

ب- العضيات السيتوبلازمية : تراكيب حية تسبح فى مادة السيتوبلازم وتقوم بوظائف معينة تخدم حياة الخلية وتنقسم الى عضيات غشائية وعضيات غير غشائية.

ج- المشتملات السيتوبلازمية : مواد غير حية مخزنة فى السيتوبلازم. وتشتمل على مواد غذائية تخزينية مثل الجليكوجين والدهون والأصباغ مثل الهيموجلوبين والميلانين وغيرها و تشمل ايضا بعض البلورات.

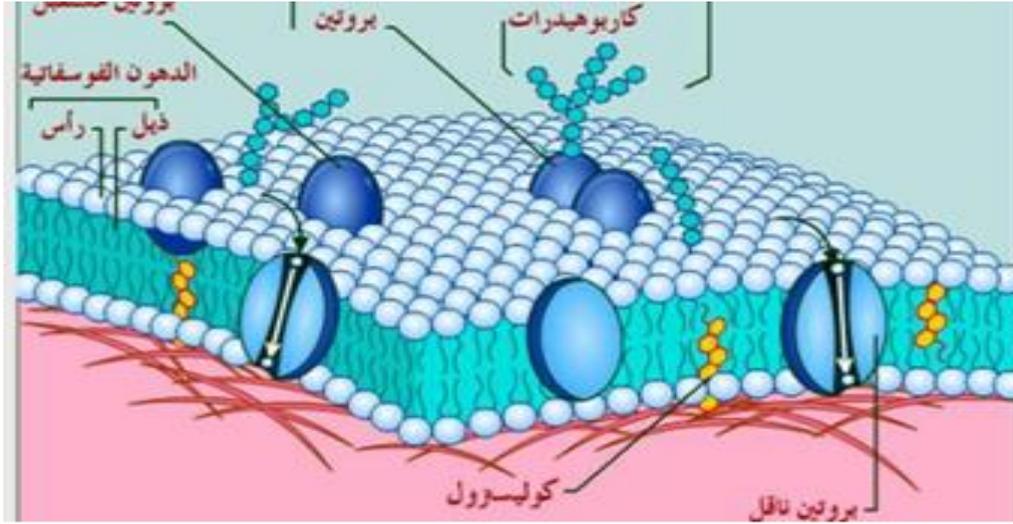
بالخلية لوحظ خروج البروتوبلازم خارج الخلية مما يعنى وجود غشاء يمنع خروج البروتوبلازم .

تركيب غشاء البلازما Structure of plasma membrane

أوضحت الدراسات التى أجريت بواسطة مجموعة من الباحثين منذ فترة زمنية بعيدة أن غشاء البلازما يتركب من طبقة واحدة رقيقة من الدهون و حيث أن نفاذ أى مادة خلال مادة أخرى مرتبط بقابلية هذه المادة على الذوبان فى الدهون و بناءا عليه اذا كان غشاء الخلية عبارة عن ليبيدات فلا بد أن أى مادة داخل الخلية يكون لها القابلية للذوبان فى الدهون و لكن وجد مواد داخل الخلية ليس لها القابلية للذوبان فى الدهون.و هذا اعطى فرصة لمجموعة من العلماء لتفسير ذلك من خلال اجراء العديد من الدراسات منها:-

نموذج دانيلى لغشاء الخلية Danielli model

تناول العالم دانيلى (١٩٥٢) تركيب غشاء الخلية فى صورة نموذج يعرف بنموذج دانيلى لغشاء الخلية و فيه يبين أن غشاء الخلية عبارة عن ثلاث طبقات و ليست طبقة واحدة ، الطبقة الخارجية و الداخلية عبارة عن بروتين protein بينما الطبقة المتوسطة عبارة عن ليبيدات lipids (دهون) فى صورة جزئين و لكن هذا التركيب لم يفسر كيفية دخول المواد التى ليست لها قابلية للذوبان فى الدهون داخل الخلية ثم طور دانيلى (١٩٥٤) من فكره موضحا أن غشاء الخلية تركيب غير متصل و أنه يحتوى على ثقب pores من خلالها تمر المواد التى ليس لها قابلية للذوبان فى الدهون داخل الخلية . جاء بعد ذلك العالم روبرتسون (١٩٥٩) و بواسطة استخدام الميكروسكوب الألكترونى ليؤكد تركيب دانيلى (١٩٥٤) على أن غشاء الخلية تركيب ثلاثى الطبقات و لكنه أضاف أن طبقة الليبيدات المزدوجة جزءها الخارجى محب للماء بينما جزءها الداخلى كارهه للماء و أن غشاء الخلية يحاط من الخارج بطبقة سطحية رقيقة من المواد السكرية المخاطية يطلق عليها الغلاف الكأسى أو الغلاف السكرى .



شكل (٤) غشاء الخلية

النموذج الفسيفسائي السائل The fluid mosaic model

البحوث الحديثة توضح أن نموذج دانييلي قد لا ينطبق على التنظيم الكيميائي لأغشية الخلايا الحيوانية جميعها بالرغم من أن التركيب العام لغشاء الخلية عبارة عن بروتينات و دهون و لكن تختلف كل خلية عن الأخرى في سمك الغشاء و هذا يبين أن نسبة الليبيدات في تركيب غشاء الخلية قد تصل الى ٣٠% و هذا يوضح المدى الواسع في النسبة مما يؤكد اختلاف أغشية الخلايا عن بعضها البعض . و في عام ١٩٧٢ قدم نيكسون و سنجر نظرية تشبه بصورة أساسية نموذج دانييلي و ذلك فيما يتعلق بوجود طبقة مزدوجة من الليبيدات منظمة بحيث تكون رؤوسها محبة للماء و متجهة ناحية سطح الغشاء الخلوي و نهايتها غير محبة للماء متجهة للداخل و لكن هذه النظرية ترى أن وجود البروتينات غير قاصر على أسطح الخلايا أي أنها لا تكون صفيحة كاملة على أسطح تلك الأغشية و لكن توجد بطريقة انتشارية على كل من السطحين الخارجى و الداخلى للخلية و أيضا قد يكون تركيب البروتينات للسطح الخارجى مختلفة عن بروتينات السطح الداخلى لأسطح الخلايا . يصف نموذج الفسيفساء السائل الطريقة التي يتكوّن بها الغشاء البلازمي من فوسفوليبيدات حرة الحركة، تحتوي على رءوس فوسفاتية محبة للماء وذيول أحماض دهنية كارهة للماء، تتخلّلها بروتينات وكوليسترول متضمنة. تؤثر درجة الحرارة على نفاذية الأغشية من خلال زيادة سيولة

الفوسفوليبيدات، وتشويه البروتينات المتضمنة، تؤثر أيضا المذيبات العضوية مثل المواد الكحولية على نفاذية الأغشية عن طريق إذابة الفوسفوليبيدات، وهو ما يجعل الغشاء أكثر سيولة ونفاذية.

التركيب الكيميائي لغشاء الخلية

كما تحدثنا من قبل من خلال نموذج دانيلى للخلية أن غشاء الخلية يتركب بصفة أساسية من الليبيدات بنسبة قد تصل الى ٣٠% و البروتينات بنسبة قد تصل الى ٧٠% و أيضا يحتوى على المواد الكربوهيدراتية بنسبة تتراوح من ١% الى ٥% طبقا لروبرتسون عام ١٩٥٩ و فيما يلى وصف لهذه المركبات.

يتألف الغشاء البلازمي من البروتينات والليبيدات التي تكون مرتبة مع بعضها البعض بشكل طبقة رقيقة بواسطة روابط غير تساهمية وتعتمد نسبة الدهون إلى البروتين على نوع الغشاء الخلوي بالنسبة للغشاء البلازمي والعضيات الخلوية الأخرى كما يؤثر نوع الكائن الحي فيما إذا كان حقيقي النواة أو بدائي النواة على هذه النسبة كذلك يلاحظ وجود الكوليسترول وليبيدات سكرية وتختلف نسبة هذه الأنواع من الدهون الغشائية باختلاف أنواع الاغشية البلازمية وقد بينت نتائج الدراسات الحديثة على اغشية كريات الدم الحمراء ان هنالك تباين في توزيع هذه الأنواع من الدهون وحتى الدهن الواحد على طبقتي الغشاء. يصف النموذج الفسيفسائي المائع بنية غشاء البلازما على أنها بمثابة فسيفساء للمكونات الأساسية التي يتألف منها بما في ذلك الفوسفوليبيدات والكوليسترول والبروتينات والكربوهيدرات التي تعطي الغشاء طابعاً مائعاً. تتراوح سمك أغشية البلازما من ٥ إلى ١٠، تختلف نسب البروتينات والليبيدات والكربوهيدرات في غشاء البلازما باختلاف نوع الخلية على سبيل المثال، يحتوي غشاء الميالين على ١٨% بروتين و ٧٦% ليبيدات في المقابل، يحتوي الغشاء الداخلي للميتوكوندريا على ٧٦% بروتين و ٢٤% ليبيدات. حالياً، يُعتبر النموذج الفسيفسائي المائع أكثر نماذج الغشاء الخلوي قبولاً.

أولاً: دهون الغشاء البلازما

تترتب دهون الغشاء البلازما في طبقتين، وتتميز بانها اختيارية النفاذية؛ أي أنها تسمح لجزيئات معينة بالمرور عبرها دون غيرها اعتماداً على حاجة الخلية لها، ومن أنواع الدهون في الغشاء البلازما:-

١- الدهون المفسفرة Phospholipids وهي جزء أساسي في تركيب دهون غشاء البلازما ثنائية الطبقة، وتتكون من جزئين؛ رؤوس مُحبة للماء، ولذلك تترتب بحيث تواجه السيتوسول (الجزء المائي من السيتوبلازم)، والسوائل التي توجد خارج الخلية، وذيول كارهة للماء؛ لذلك توجد بين طبقتين من الرؤوس المحبة للماء؛ وذلك حتى تكون بعيدة عن السيتوسول والسوائل التي توجد خارج الخلية.

٢- الكولسترول (Cholesterol) تتبعثر جزيئات الكولسترول بين الدهون المفسفرة، وبذلك تحافظ على ليونة الغشاء البلازما، وتمنع امتلاء الغشاء الخلوي بالدهون المفسفرة، ويوجد الكولسترول فقط في أغشية الخلايا الحيوانية، ولا يوجد في أغشية الخلايا النباتية.

١- الدهون السكرية Glycolipids توجد الدهون السكرية على السطح الخارجي للغشاء البلازما، ولها دور في تمييز الخلايا للخلايا الأخرى التي يتكون منها الجسم.

ثانياً: بروتينات غشاء البلازما

يوجد نوعان من البروتينات في الغشاء البلازما:

١- بروتينات غشائية محيطية Peripheral membrane proteins وهي بروتينات لا ترتبط بالغشاء الخلوي مباشرة، بل ترتبط بالبروتينات الأخرى التي توجد في الغشاء.

٢- البروتينات الغشائية المدمجة Integral membrane proteins ، تنغمس البروتينات الغشائية المدمجة في الغشاء البلازما وتمتد أطرافها لتظهر على جانبي الغشاء.

ويمكن تقسيم البروتينات حسب الوظيفة التي تؤديها إلى الأنواع الآتية:

أ- بروتينات هيكلية Structural proteins تمتلك البروتينات الهيكلية عدة خصائص، أبرزها ما يأتي: يبدأ بناء البروتينات الهيكلية بعد تكرار الحمض النووي مباشرة، توفر البروتينات الهيكلية الدعم لخلايا العظام والغضاريف والشعر والعضلات، تشمل البروتينات الهيكلية على بروتينات الكولاجين والأكتين والكيراتين.

ب- البروتينات المستقبلية receptor proteins البروتينات المستقبلية هي فئة خاصة من البروتينات التي تدعم حياة الخلية، وتعمل من خلال توفير أماكن خاصة عليها (مستقبلات) جاهزة للارتباط بمختلف الجزيئات، إذ إن هذا المستقبل عند ارتباطه مع جزيء معين يمكنه تغيير شكله وإرسال إشارة تحمل معنى معين للخلية لإحداث استجابة معينة. وتتميز البروتينات المستقبلية بأنها تبقى في معظم الوقت على سطح الخلية، وفي بعض الحالات الأخرى تتحرك محدثة سلسلة من الوظائف المعقدة.

ج- البروتينات الناقلة Transport proteins البروتين الناقل عبارة عن نوع من البروتينات الموجودة في غشاء الخلية، والتي تسهل عملية نقل وانتشار المواد، ومن أبرز خصائصها ما يأتي تنقل المواد من داخل إلى خارج الخلية عبر الغشاء البلازمي. توجد في أغشية الخلايا، والميتوكوندريا، والبلاستيدات الخضراء.

د- البروتينات السكرية Glycoproteins تعرف البروتينات السكرية بأنها جزيئات مكونة من البروتينات والكربوهيدرات معاً، تدخل البروتينات السكرية في العديد من الوظائف الفسيولوجية؛ كإفراز مادة الجلوبيين الضرورية لجهاز المناعة، تُساعد البروتينات السكرية الجسم على إفراز الكولاجين والميوسين، وهي بروتينات تفرز في الجهاز الهضمي والتنفسي. تحدد البروتينات السكرية الموجودة في خلايا الدم الحمراء فصيلة الدم، تدخل في تركيب بعض هرمونات الغدد التناسلية مثل هرمونات النمو والبلوغ والتكاثر.

ثالثا الكربوهيدرات

توجد الكربوهيدرات على السطح الخارجي للخلايا وتعتبر المكون الثالث والرئيسي لغشاء البلازما، ولا شك أن الكربوهيدرات لا توجد لوحدها في الخلايا وإنما ترتبط بالدهون السكرية أو بالبروتينات السكرية، كما أنها تتكون من ٢-٦٠ وحدة سكريات أحادية إما أن تكون مستقيمة أو متفرعة. تلعب الكربوهيدرات دورا كبيرا ورئيسيا في أنها علامة خلوية مميزة ومشابهة لشارات التعريف الجزيئي أي أنها تسمح لخلايا الجهاز المناعي بالتعرف على بعضها البعض والتميز ما بين خلايا الجسم والأجسام الغريبة التي تدخله ويتوجب عليها مهاجمتها.

درجة الحرارة و سيولة الأغشية البلازمية

١- عند درجات الحرارة المنخفضة، تميل الفوسفوليبيدات إلى تقليل الحركة، وتصبح أكثر تنظيما بشكل محكم فيما يشبه البنية البلورية وبناء عليه، تجعل درجات الحرارة المنخفضة الأغشية أكثر تماسكا، وهو ما يمكن أن يتعارض مع الوظائف الأساسية مثل مرور الغازات كما أن المزيد من التماسك يجعل الأغشية أكثر عرضه للكسر. يحد الكوليسترول من هذه الظاهرة من خلال عرقلة تنظيم الفوسفوليبيدات المتراسة والمنتظمة ، وبذلك تزيد سيولة الأغشية.

٢- درجات الحرارة الأعلى تزود الفوسفوليبيدات في الطبقة المزدوجة بطاقة حرارية (حرارة) أكبر، وهو ما يزيد من طاقة حركتها، أو سرعة حركتها، وهو ما يزيد من سيولة الغشاء. إذا كان الغشاء أكثر سيولة، فإن نفاذيته تزيد بزيادة الحيز الذي تتحرك خلاله المواد. و هذا يعنى أن البروتينات المتضمنة يمكن أن تصبح مشوهة (أي شكلها يتغير بشكل نهائي) إذا ارتفعت درجة الحرارة عن المستوى الأمثل. هذا يعني أنه لن يكون بإمكانها أداء أدوارها المتعلقة بالنقل بعد ذلك. لكن عند ارتفاع درجة الحرارة، يحتفظ الكوليسترول بتفاعلات قوية مع الفوسفوليبيدات ويجذبها معا، وهو ما يحول دون أن يصبح الغشاء سائلا للغاية. وفي النهاية، يُعتبر الكوليسترول بمثابة معادل يحافظ على سيولة الغشاء في حالة استقرار خلال مدى كبير من درجات الحرارة.

المذيبات العضوية و الغشاء البلازمي

المذيبات العضوية التي قطبيتها أقل من الماء، مثل الكحوليات أو المذيبات غير القطبية، تكون قادرة على إذابة الأغشية البلازمية من أمثلة ذلك المطهرات: يُتلف الكحول الأغشية البكتيرية، من خلال إذابة الأحماض الدهنية للفوسفوليبيدات وهو ما يقضي على البكتيريا. ويوجد الكحول المخفف في المشروبات الكحولية، وهو ما يحدث اضطرابا في الأغشية الخلوية للأعصاب. يؤدي هذا إلى حدوث اضطراب في انتقال النبضات العصبية ويجعل ردود أفعال الشخص أبطأ، بالإضافة إلى آثار جانبية سلوكية أخرى، كما يمكن لبعض المواد الأخرى الكارهة للماء، مثل بعض الأدوية، المرور عبر الغشاء مباشرة.

المحاليل العالية التوتر (التي يكون تركيز المادة المذابة بها عاليا)، أو المنخفضة التوتر (التي يكون تركيز المادة المذابة بها منخفضا)، قد تؤثر على معدل حركة جزيئات المادة المذابة أو الماء أو هما معا عبر الغشاء البلازمي، لكن لن يؤثر هذا كثيرا على نفاذية الأغشية.

الأهمية الوظيفية لغشاء البلازما

١- النفاذية Permeability و من خلالها يعمل غشاء الخلية على التحكم في مرور المواد الذائبة الى داخل الخلية و يمنع انتشار البروتوبلازم خارج الخلية و تعرف هذه الظاهرة بالنفاذية و لها أهمية أساسية و ذلك لأنها الميكانيكية التي تنظم دخول المواد الأساسية لبناء التراكيب الحية كما تنظم خروج الماء و المواد التالفة التي تتخلص منها الخلية.

٢- ظاهرة الالتهام (الابتلاع) ولما كان غشاء الخلية يمثل الحد الفاصل بين الخلية والوسط الذي يحيط بها فان الجزء الأكبر من عمليات تبادل المواد بين الخلية و الوسط المحيط بها يتم عن طريق عملية الالتهام أو الابتلاع و التي تعرف بالنقل النشط للأيونات و الجزيئات فعلى سبيل المثال يتم أعتداء الخلايا بصورة نشطة للأجزاء

الصغيرة من المواد الصلبة و المذابة بواسطة عملية الأبتلاع أو الألتهام و أيضا في مرور النواتج الخلوية من الخلية الى الوسط المحيط بها.

٣- غشاء البلازما هو المسئول عن تحديد الشكل العام للخلية

٤- الوظيفة الرئيسية للغشاء البلازمي هي الحماية حيث يخلق الغشاء البلازمي حاجز يفصل الخلية عن البيئة المحيطة.

٥- يحتفظ الغشاء البلازمي بالمواد اللازمة داخل الخلية ويبقي الجزيئات خارج الخلية التي يمكن أن تكون ضارة.

٦- يعتبر الغشاء البلازمي منفذ بشكل انتقائي. وهذا يعني أن الغشاء البلازمي يسمح فقط بدخول أو خروج مواد معينة من الخلية، من الممكن أن تنتشر الجزيئات الصغيرة مباشرة عبر الغشاء البلازمي في حين تتطلب الجزيئات الكبيرة بروتين ناقل عبر الغشاء.

٧- علاوة على ذلك، الغشاء البلازمي يمتلك وظيفة مهمة في الكائنات متعددة الخلايا وهي وظيفة التعرف على هذه الخلية، هذه الوظيفة مهمة خاصة في التعرف على الخلية من قبل الجهاز المناعي تجنباً لتدمير هذه الخلايا.

٨- يمتلك الغشاء البلازمي وظيفة مهمة في إرسال الإشارات الخلوية بين الخلايا وذلك من خلال ارتباط الجزيئات بمستقبلات على سطح غشاء الخلية ويمكن أن تؤدي إلى مجموعة من التغييرات في الخلية .

من وظائف الغشاء الخلوي ما يأتي يساهم في نقل المواد من الخلية وإليها.

النقل عبر الغشاء البلازمي

من الوظائف المهمة للغشاء البلازمي نقل المواد من الخلية وإليها، ومن أهم طرق نقل المواد عبر الغشاء البلازمي ما يأتي

١- الانتشار Diffusion : انتقال المواد الذائبة عبر الغشاء البلازمي من المنطقة ذات التركيز المرتفع إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض للوصول إلى حالة من

التوازن أي وجود تركيز متساوي على طرفي الغشاء البلازمي دون الحاجة إلى الطاقة أو مواد ناقلة مثل الإنزيمات.

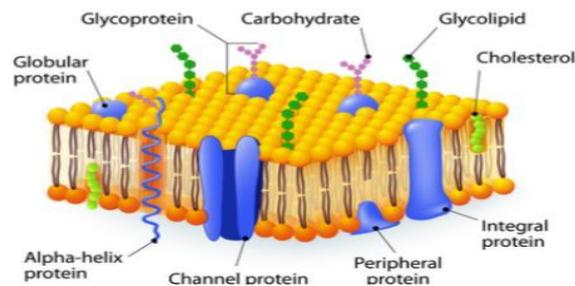
٢- الانتشار المسهل Facilitate diffusion نقل المواد الذائبة من المنطقة ذات التركيز المرتفع إلى المنطقة ذات التركيز المنخفض بمساعدة البروتينات الناقلة دون الحاجة إلى بذل طاقة.

٣- النقل النشط Active transport نقل المواد عبر الغشاء البلازمي ضد اتجاه التركيز أي من المنطقة ذات التركيز المنخفض إلى المنطقة ذات التركيز المرتفع بمساعدة البروتينات الناقلة التي تعمل كمضخة، وهذا النوع من النقل يحتاج إلى طاقة.

٤- الخاصية الأسموزية Osmosis انتقال المذيب من التركيز الأقل للمادة المذابة إلى التركيز الأعلى.

٥- الإدخال الخلوي Endocytosis نقل المواد من خارج الخلية إلى داخلها ضمن حويصلات.

٦- الإخراج الخلوي Exocytosis نقل المواد إلى خارج الخلية عن طريق الحويصلات الإفرازية.



شكل (٤) غشاء الخلية

عضيات الخلية

١- العضيات الغشائية: وهي محاطة بغشاء وتشمل:

الشبكة الإندوبلازمية - جهاز جولجي - الميتوكوندريا - الليسوسومات - الفجوات - البيروكسيسومات.

٢- العضيات الغير غشائية : لا تحتوى على أغشية وتشمل:

الريبوسومات - الجسم المركزي - الهيكل الخلوي (الأنبيبات الدقيقة و الخيوط) -
الاهداب و الاسواط

الميتوكوندريا Mitochondria

أجريت العديد من الأبحاث العلمية متناولة الخلية الحيوانية و أيضا النباتية و ذلك بداية من نهاية القرن التاسع عشر و حتى يومنا هذا مازالت تجرى الأبحاث المتطورة مع تطور التقنيات الحديثة . ففى عام ١٨٩٠ م استطاع العالم ألمان Altmann من وصف الميتوكوندريا mitochondria داخل الخلية العصبية nerve cell ثم أكد العالم بندا Benda وجود الميتوكوندريا فى جميع الخلايا فى عام ١٨٩٧ م . يحتوى سيتوبلازم الخلية على الميتوكوندريا فى صورة عضيات حية و تم التعرف عليها من خلال الميكروسكوب الضوئى الذى أظهرها فى صورة حبيبات صغيرة Small granules أو قضبان قصيرة Short rods أو حويصلات Vesicles أو خيوط دقيقة Filaments و أخذت هذه الأشكال مسميات مختلفة . تعرف الميتوكوندريا التى تحمل شكل القضبان القصيرة و الخيوط الصغيرة بالكندريوكنات Chonderioconts أما الميتوكوندريا حبيبية الشكل تسمى بالكندريوميتات chonderiomites فى حين أن الميتوكوندريا حويصلية الشكل تعرف بالكندريوسفيرات Chonderiospheres . و تعتبر الميتوكوندريا المولدات النباتية للطاقة Power plants فى الخلايا أو مصانع إلهية يتم بداخلها تحويل الطاقة الكيميائية الموجودة فى المواد الغذائية الى نوع من الطاقة يتم استخدامة بواسطة الخلايا المختلفة بالجسم .

أشكال الميتوكوندريا Morphology of mitochondria

هل من الضرورى أن تحتوى الخلية على شكل واحد فقط من أشكال الميتوكوندريا ؟
كل خلية تحتوى على شكل أو أكثر من الأشكال المميزة للميتوكوندريا . فعلى سبيل المثال تحتوى خلايا البنكرياس Pancreatic cells على الشكل الخيطى للميتوكوندريا فى حين أن الخلايا التناسلية genital cells (البويضات و الحيوانات المنوية

Sperms & Eggs) تحتوى على الشكل الحبيبي للميتوكوندريا بينما الخلايا العصبية Nerve cells تحتوى على شكلين من أشكال الميتوكوندريا و هما القضبان القصيرة و الخيوط الصغيرة (Chondriocots) و كذلك نجد أن الخلايا الطلائية للأمعاء تحتوى على الشكل الحويصلى و الحبيبي و الخيطى داخل الخلية الواحدة و هذا يعنى أن الخلية يمكنها أن تمتلك شكل واحد أو عدة أشكال.

حجم و عدد و توزيع الميتوكوندريا Size , number and position

لاحتوى الخلايا الحيوانية على حجم واحد للميتوكوندريا و لكن يختلف حجم الميتوكوندريا باختلاف نشاط الخلية • و لكن الملاحظ أن عرض الميتوكوندريا ثابت تقريبا بينما طولها يختلف من خلية الى أخرى فقد يوجد منها القصير و قد يوجد الطويل حسب نشاط الخلية و أيضا الضغط الأسموزى و المثبت المستخدم. يختلف عدد الميتوكوندريا تبعا لنوع الخلايا و حالتها ووظيفتها • فعلى سبيل المثال تحتوى الخلية الكبدية للتدبيات على حوالى ٢٥٠٠ بينما يتناقص هذا العدد و قد يصل الى ٢٠٠ تقريبا فى الخلايا الكبدية المصابة بالسرطان Hepatoma تنتشر الميتوكوندريا فى الظروف العادية فى جميع أنحاء السيتوبلازم و لكن فى حالات أخرى قد تتمركز فى مناطق معينة • نجد أن الميتوكوندريا فى خلايا الكلية Renal cells تتجمع فى المنطقة القاعدية Basal region للخلية بينما فى الأنواع الأخرى للخلايا يختلف موضع الميتوكوندريا حسب وظيفتها كمصدر للطاقة Energy suppliers • ففى خلايا شبكية العين تحتل الميتوكوندريا المنطقة الداخلية للتركيب الدقيق للخلية فى حين أنها تشغل حافة السيتوبلازم فى الخلايا العصبية Nerve cells •

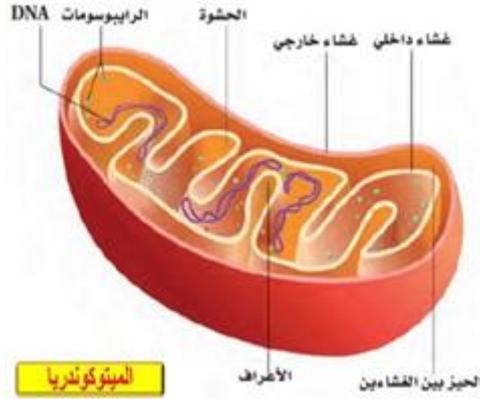
تركيب الميتوكوندريا Structure of mitochondria

نتناول هنا التركيب الدقيق و التركيب الكيميائى للميتوكوندريا :-

١- التركيب الدقيق Ultra structure

استخدام الميكروسكوب الألكترونى و الذى تظهر من خلاله فى صورة تجويف محاط بغشاء خارجى أملس و أيضا يوجد داخل هذا الغشاء غشاء آخر يمتد داخل تجويف الميتوكوندريا على هيئة مجموعة من الأعراف أو الفواصل أو الحواجز التى تقسم

التجويف الى مجموعة من الحبرات الصغيرة و نلاحظ أيضا أن الغشاء الداخلى يقسم الميتوكوندريا الى حجرتين ، حجرة خارجية تقع بين الغشائين الخارجى و الداخلى و حجرة داخلية يحدها الغشاء الداخلى و تمتلأ بمادة تعرف بالمادة الخلالية للميتوكوندريا فى جميع أنواع الميتوكوندريا تركيب الغشاء الخارجى واحد بينما تركيب الغشاء الداخلى و الجواجز الميتوكوندريية مختلفة باختلاف الخلايا و ايضا الحواجز الميتوكوندريية تقسم الحجرة الداخلية انقسام غير كامل و يعتبر وجود مثل هذه الحواجز و أشكالها نوع من التحور للحصول على متسع من مساحة السطح تتم عليه العمليات الحيوية . لذا نجد أن الميتوكوندريا تحتوى على حبيبات بالغة الدقة موزعة بانتظام على الحواجز الميتوكوندريية و تمثل هذه الحبيبات تجمعات من الأنزيمات التنفسية و تحتوى الخلية الكبدية على حوالى ١٥٠٠٠ من الانزيمات التنفسية بينما فى خلايا عضلات الطائر قد تحتوى كل خلية على ١٠٠٠٠٠٠ انزيم تنفسى .



٢- التركيب الكيمياءى Chemistry of mitochondria

يختلف التركيب الكيمياءى للميتوكوندريا من خلية الى أخرى باختلاف الظروف و مدى تأثرها بالتغيرات المرضية . تتركب الميتوكوندريا كيمياءيا من الليبيدات حوالى ٣٠% و البروتينات حوالى ٧٠% .

توضيح الميتوكوندريا Demonstration of mitochondria

لكى يتم التعرف على الميتوكوندريا و توضيحها داخل الخلية بتوفر وسيلة تقنية حديثة متمثلة فى استخدام ميكروسكوب التباين و ذلك لعدم القدرة على مشاهدتها بالميكروسكوب الضوئى العادى لذا يمكن مشاهدة الميتوكوندريا فى الخلية إما:-

١- موجودة فى الصورة الحية و ذلك بحقن الخلية بصبغة معينة تتأثر بها فقط الميتوكوندريا مثل صبغة الجانيس الخضراء و السوداء و يصبغ الجانيس الأخضر الميتوكوندريا باللون الأخضر المزرق فى حين أن هذه الصبغة لا تظهر فى المحتويات الأخرى للسيتوبلازم و ذلك لأختزالها الى مادة قاعدية .

٢- موجودة فى الصورة المثبتة و فى هذه الحالة لابد من تثبيت الخلية بواسطة مثبت مناسب مثل حمض الكروميك أو رابع أكسيد الأوزميوم بحيث لا تتحلل مكونات الخلية و خصوصا التركيب الدهنى البروتينى و بعد ذلك تصبغ الخلية بواسطة صبغة مناسبة تقوم بصبغة الميتوكوندريا فقط دون صبغة المكونات الأخرى للخلية مثل صبغة الفكسين الحمضى لألتمان أو محلول ريجو أو محلول بندا البنفسجى البلورى و غيرها من الصبغات الأخرى.

عدم تجانس الميتوكوندريا Heterogeneity of mitochondria

تحدثنا من قبل عن الأشكال المختلفة للميتوكوندريا داخل الخلايا المختلفة و كيف أن الخلية لابد أن تحتوى على شكل أو عدة أشكال مختلفة يتوفر فيها شرط التجانس بين هذه الأشكال فى العضو الواحد الا أنه قد يوجد أكثر من نمط أو شكل فى خلايا العضو الواحد كما هو الحال فى خلايا كبد الثدييات و يطلق على هذه الظاهرة " عدم تجانس الميتوكوندريا Heterogeneity of mitochondria " و قد يعزى هذا الاختلاف الى نشاط الخلايا المختلفة . ففى حالة الفصوص الكبدية للثدييات نجد أن الخلايا الحافية للفص الكبدى (الخارجية) تحتوى على ميتوكوندريا خيطية فى حين أن الخلايا فى المنطقة المتوسطة للفص الكبدى تحتوى على خيط من أشكال الميتوكوندريا (الحبيبية و الخيطية).

أمراض الميتوكوندريا

الميتوكوندريا تأثر في أيض الخلية و هذا يؤدي الى اضطرابات الميتوكوندريا و هي في صورة اضطرابات عصبية مثل التوحد Autism . كما يمكنها أن تتجلى على شكل مرض عضلي، السكري، اعتلال الغدد الصماء المتعدد، والعديد من الاضطرابات الجهازية الأخرى. تشمل الأمراض التي تحدث بسبب طفرة في DNA الميتوكوندريا متلازمة ساير، متلازمة ميلاس واعتلال ليبر العصبي البصري الوراثي. في معظم الحالات، تنتقل هذه الأمراض بواسطة الأم إلى أبنائها وذلك لأن اللاقحة تحصل على وحدات الميتوكوندريا (DNA الميتوكوندريا) من البويضة. يعتقد أن سبب أمراض مثل متلازمة ساير، متلازمة بيرسون وشلل العين يعود إلى إعادات تنظيم دنا الميتوكوندريا واسعة النطاق، بينما أمراض أخرى مثل متلازمة ميلاس، اعتلال ليبر العصبي البصري الوراثي، الصرع و امراض أخرى سببها طفرات في مناطق معينة DNA الميتوكوندريا.

وظائف الميتوكوندريا Functions of mitochondria

للميتوكوندريا مهام وظيفية عديدة منها :

- ١ - نظرا لحتوائها على العديد من الانزيمات التنفسية تعتبر من المراكز التنفسية للخلية .
- ٢- تحتوي الميتوكوندريا على انزيمات تؤدي وظيفة متناقضة أى تقوم بعملية البناء فى الأوليات النباتية و عملية الهدم فى الأوليات الحيوانية .
- ٣ - يعتقد أن الميتوكوندريا مسئولة عن انتاج حبيبات الزيموجين فى خلايا البنكرياس لذا فهى تلعب دور هام فى عملية الهضم خارج الخلايا .
- ٤ - تلعب الميتوكوندريا دورا هام فى عملية أيض الدهون .
- ٥- تقوم الميتوكوندريا بدور هام فى تكوين المح الزلالى فى البويضات .
- ٦- تكون الميتوكوندريا غلاف الخيط المحورى للقطعة المتوسطة للحيوان المنوى
- ٧- تلعب دور هام فى الموت المبرمج للخلية.
- ٨- مصدر رئيسى للطاقة فى الخلية عن طريق انتاجها ATP

الشبكة الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum

لعب الميكروسكوب الألكترونى دور هام و حيوى فى التعرف على التركيب الدقيق لمكونات الخلية ففى عام ١٩٥٤ تمكن العالم بورتر من اكتشاف الشبكة الاندوبلازمية داخل بروتوبلازم الخلية و أكد أيضا أن جميع الخلايا الحيوانية تحتوى على هذا التركيب فيما عدا كرات الدم الحمراء كاملة التكوين فى الانسان.

تركيب الشبكة الاندوبلازمية Structure of idioplasmic reticulum

الشبكة الاندوبلازمية عبارة عن جهاز يتكون من تجاويف على شكل أنابيب أو قنوات أو حويصلات أو جميعها • و تحاط هذه التجاويف بأغشية رقيقة ، و يختلف عدد هذه التجاويف الغشائية حسب نوع الخلية فتكون كثيرة جدا فى العدد كما فى الخلايا الكبدية و البنكرياسية أو قليلة كما فى الخلايا العضلية •

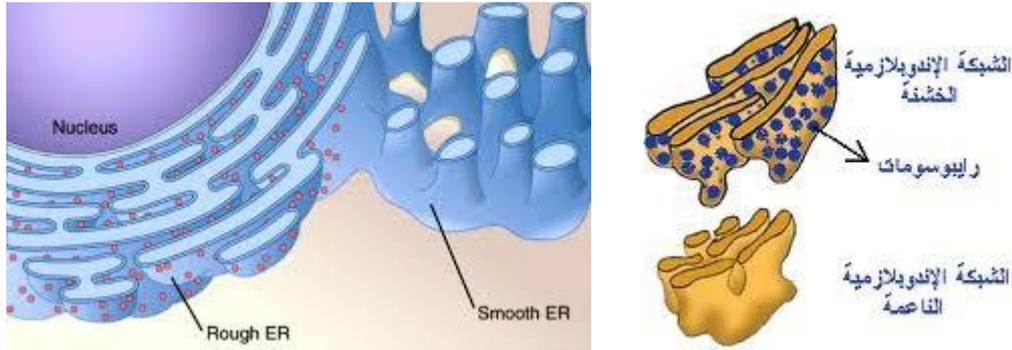
أنواع الشبكة الاندوبلازمية Types of endoplasmic reticulum

١- الشبكة الاندوبلازمية الخشنة Rough endoplasmic reticulum

أهم ما يميز هذا النوع من الشبكة الاندوبلازمية وجود حبيبات دقيقة جدا على السطح الخارجى لغشائها و هذه الحبيبات تكسب الشبكة الاندوبلازمية الملمس الخشن • و هذه الحبيبات غنية بالمواد البروتينية و حمض الريبونيوكلريك RNA و لذلك سميت هذه الحبيبات بالريبوسومات أو الحبيبات النووية، إلا أن الريبوسومات ليست أجزاء مستقرة من بنية هذه العضية لأنها فى حالة ارتباط وانفصال مستمرة بالغشاء. لا يرتبط الريبوسوم بالشبكة الخشنة سوى عند تشكل مركب بروتين حمض نووي خاص فى العصارة الخلوية، هذا المركب الخاص يتشكل حين يبدأ ريبوسوم حر فى ترجمة RNAm لبروتين هدفه المسار الإفرازي.

و تكون الشبكة الاندوبلازمية الخشنة مركزة و واضحة التكوين فى المناطق القاعدية من الخلية (المناطق التى تقبل الصباغة بالصبغات القاعدية) و خصوصا الخلايا الافرازية • و الشبكة الاندوبلازمية المحببة واسعة الانتشار فى الخلايا النامية و فى الخلايا التى لها علاقة بتكوين المواد البروتينية، تحتوى فى تجويفها على

حبيبات الانزيمات الخام و التي تستخدم فى تحويل الأحماض الأمينية الى بروتينات و هذا يعنى أن المواد البروتينية التي تتكون بواسطة الريبوسومات يتم تجميعها فى تجاويف الشبكة الاندوبلازمية حيث تتكاثف على هيئة حبيبات • و هذا يفسر تواجد مادة الألبومين متمركز فى تجويف الشبكة الاندوبلازمية لخلايا البنكرياس و الخلايا المبطننة لقناة البيض فى الطيور • وترتبط الشبكة الاندوبلازمية الخشنة ارتباطا وثيقا بعملية نمو الخلايا و أيضا التميز •



شكل (٦) الشبكة الاندوبلازمية

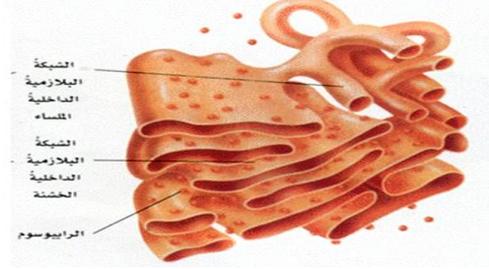
٢- الشبكة الاندوبلازمية الملساء Smooth endoplasmic reticulum

يتميز هذا النوع من الشبكة الاندوبلازمية بعدم احتوائه على الريبوسومات أو الحبيبات النووية أى أن السطح الخارجى لغشائها أملس • الشبكة الإندوبلازمية الملساء قليلة فى معظم الخلايا، وبدل ذلك توجد مناطق فى الشبكة ملساء جزئيا و خشنة جزئيا وتسمى هذه المناطق بالشبكة الإندوبلازمية الانتقالية وذلك لاحتوائها على مواقع لمغادرة الشبكة الإندوبلازمية، فى هذه المناطق تتفصل الحويصلات الناقلة التي تحتوي على ليبيدات وبروتينات مخلقة عن الشبكة وتبدأ فى التحرك نحو جهاز جولجي. و يوجد هذا النوع من الشبكة الاندوبلازمية الملساء فى الخلايا العضلية الارادية و الخلايا الطلائية لشبكية العين.

هل الخلية تحتوي على نوع واحد فقط من نوعى الشبكة الاندوبلازمية

ليس من الضرورى احتواء الخلية على نوع واحد من نوعى الشبكة الاندوبلازمية بل توجد خلايا تحتوي على النوعين معا مثل الخلية الكبدية حيث تقع الشبكة الاندوبلازمية

الخشنة فى المنطقة المركزية للخلية بينما توجد الشبكة الاندوبلازمية الناعمة عند المنطقة الحافية للخلية .



العلاقة بين الشبكة الاندوبلازمية و الغشاء النووى للنواة

من المعلوم أن الغشاء النووى الذى يحيط بالنواة يتكون من طبقتين احدهما خارجية و الثانية داخلية و من ثم وجد أن الشبكة الاندوبلازمية ترتبط ارتباطا قويا بالطبقة الخارجية للغشاء النووى و لذلك أعتبر الغشاء النووى جزءا من الشبكة الاندوبلازمية . و هذا يوضح عدم وجود الشبكة الاندوبلازمية فى كرات الدم الحمراء كاملة التكوين و أيضا عدم وجود نواة بها .

أهمية الشبكة الاندوبلازمية Significance of endoplasmic reticulum

الشبكة الإندوبلازمية هي الموقع الخلوي لتخليق الدهون وإزالة السموم الخلوية وسمية النواتج الطبيعية للأيض والكحول والأدوية، وايض الكربوهيدرات وتخزين أيونات الكالسيوم. تُنقل البروتينات المفترزة في الغالب بروتينات سكرية على طول غشاء الشبكة الإندوبلازمية. الشبكة الإندوبلازمية جزء من مسار تصنيف البروتين، وهي نظام النقل في خلايا حقيقيات النوى. تميل الخلايا المتخصصة في إفراز الهرمونات إلى أن تكون وفيرة في الشبكة الإندوبلازمية الناعمة. وبالمثل ، فإن خلايا إزالة السموم من الكبد غنية بالشبكة الإندوبلازمية الناعمة. تحفز الشبكة الإندوبلازمية من حين لآخر عملية موت الخلايا المبرمج apoptosis كاستجابة لزيادة كمية البروتينات غير المطوية. يسبب العديد من الاضطرابات الهيكلية الوراثية، نمو ضعيف للعظم، ومفاصل ضعيفة، وقابلية انخلاع المفاصل. يمكن أن تساهم حتى في مرض الزهايمر. وتسبب الاضطرابات في عملها في أمراض نقص التأكسج ، مقاومة الأنسولين

واضطرابات أخرى. كما أنها تلعب دورا هام و حيوى فى نقل المؤثرات المنبئه من منطقة الى منطقة أخرى داخل الخلية.

الريبوسومات Ribosomes

الريبوسومات هى عبارة عن تراكيب بالغة الدقة توجد فى جميع الخلايا الحيوانية فيما عدا كرات الدم الحمراء كاملة التكوين • الريبوسومات اما أن توجد حرة التوزيع داخل المادة الخلالية للسيتوبلازم أو متصلة بأجزاء معينة من غشاء الشبكة الاندوبلازمية فى الخلايا التى تلعب فيها الريبوسومات دورا فى تخليق البروتين و هى العملية التى يتم أثناءها تجميع و تنظيم الأحماض الأمينية بطريقة معينة لتكون سلسلة من عديدة الببتيدات • وتبدو الريبوسومات كروية الشكل أو عصوية أو عديدة الأضلاع ، و يتكون كل ريبوسوم من وحدتين صغيرتين • و المكونات الأساسية للريبوسوم عبارة عن البروتين و الحمض النووى الريبونوكليك بنسب قد تكون متساوية مع وجود أو عدم وجود نسبة ضئيلة من المواد الدهنية و بالتالى فان الريبوسومات تلعب دور حيوى و أساسى فى عملية تخليق البروتين.

الريبوسوم Ribosome هو أحد عضيات الخلايا الحية ، وهو مؤلف من بروتينات ريبوسومية و RNA ريبوسومي، مهمته الأساسية ترجمة RNA المرسل إلى سلاسل ببتيدية تترايط فيما بعد لتشكيل البروتينات، وبالتالى هو أحد المراكز المهمة فى عملية تحويل المعلومات الوراثية إلى بروتينات مشفرة ضمن الصيغة الوراثية الى جانب المهمة الرئيسية للريبوسوم هى صناعة البروتينات للخلية و بالتالى فإن الريبوسوم يحتاج تعليمات مُحددة حول كيفية صناعة كل نوع من البروتين و هذه التعليمات تأتي من النواة فى شكل الحمض الريبوزي الرسول RNAm.

تتكون الريبوسومات من وحدتي بروتينات، لا تجتمع مع بعضها إلا فى حالة تكوين البروتين. إحدى هذه الوحدات أكبر من الآخر يمكن للريبوسومات أن تسبح فى الخلية بحرية كما فى بدائيات النواة أما فى حقيقيات النواة فقد توجد حرة فى السيتوبلازم أو مرتبطة بأغشية الشبكة الاندوبلازمية.

تقوم الريبوسومات المبعثرة في السيتوبلازم بإنتاج البروتينات الخاصة بالخلية أما الريبوسومات التي تكون مرتبطة بالشبكة الإندوبلازمية والغلاف النووي فتنتج البروتينات الخاصة بالغشاء الخلوي أو تلك التي قد لاتخص الخلية نفسها مثل الهرمونات.

أنواع الريبوسومات

١- ريبوسومات الخلايا البدائية: حيث تكون أصغر حجما من الريبوسومات في الخلايا حقيقية النواة وهي تتكون من وحدات S70 (S=Svedberg-Unit). الوحدة الصغرى S30 والوحدة الكبرى S50. وحدة القياس S غير قابلة للجمع، لأنها تعبر عن قوة الطرد المركزي لهذه الجسيمات.

٢- ريبوسومات الخلايا الحقيقية: وتتكون من وحدات S80 بحيث أن الوحدة الكبرى تبلغ S60 والوحدة الصغرى S40. وحداتا الريبوسوم مجتمعين تحتويا على ما يقارب ٨٥ بروتينا و ٣ RNAr.

جهاز جولجي Golgi apparatus

جهاز جولجي أو معقد جولجي أو جسيم جولجي أو جسم جولجي أو شبكة جولجي هي عضوية خلوية تتواجد في معظم خلايا حقيقيات النواة، اكتشفها العالم الإيطالي كاميلو جولجي سنة ١٨٩٧ وسمّاها باسمه سنة ١٨٩٨. جهاز جولجي جزء من النظام الغشائي الداخلي في السيتوبلازم، ويتكون من عدة حزمات صهرجية متصلة ببعضها عبر أنابيب دقيقة ويقوم بمعالجة وتجميع البروتينات في حويصلات غشائية ناقلة وإرسالها إلى وجهتها النهائية.

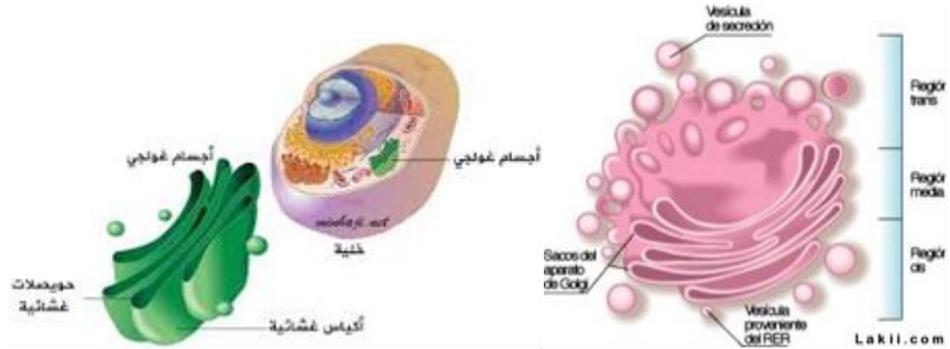
التركيب Structure

أخي الطالب ٠٠٠ أختي الطالبة نعلم جميعا أن المملكة الحيوانية عبارة عن حيوانات تحتوى على العمود الفقري و تسمى بالفقاريات و حيوانات أخرى لا تحتوى على مثل هذا التركيب تعرف باللافقاريات . كما أن هناك نوعان من الخلايا على أساس عدد الكروموسومات أو الصبغيات الوراثية، النوع الأول يحتوى على العدد التضاعفي من

الصبغيات الوراثية (٢ ن) و تسمى بالخلايا الجسدية أو الخلايا الجسمية أما النوع الثانى فيحتوى على العدد النصفى من الصبغيات الوراثية (ن) و تسمى بالخلايا التناسلية (الجنسية) . لذا يوجد جهاز جولجى فى الخلايا الجسدية للفقاريات على هيئة تركيب شبكى و بالتالى وصف هذا الجهاز على أنه جهاز قنوى (جاتينبى و تهاى موسى ١٩٤٩) أى يتكون من حويصلات و أنابيب يحتوى تجويفها على مادة جهاز جولجى • بينما يحمل جهاز جولجى شكل الحويصلات vesicles أو الأهلة فى الخلايا الجسدية و التناسلية للحيوانات اللاقارية . و الخلايا التناسلية للحيوانات الفقارية و يعرف جهاز جولجى أيضا بالليبوكوندريا Lipochondria أو جولجوسومات Golgiosomes أو الديكتيوسومات Dictyosomes.

كان لظهور الميكروسكوب الألكترونى بالغ الأثر فى التعرف على التركيب الدقيق لعضيات الخلية . لذا يتركب جهاز جولجى من وحدات تعرف بالصهاريج Cisternae أو أكياس كبيرة مفلطحة Flat large sacs و مجموعة من الفجوات الكبيرة large vacuoles التى تقع عند حافة الصهاريج و تجمعات من الحويصلات الصغيرة clusters of small vesicles التى توجد بين الفجوات الكبيرة • يتكون جهاز جولجى لدى معظم حقيقيات النواة من مجموعة من الفجوات الغشائية المسطحة المدمجة وتعرف باسم الصهاريج نشأت من تكدرات حويصلات تتبرعم من الشبكة الإندوبلازمية. تحتوى خلايا الثدييات عادة على حوالي ٤٠ إلى ١٠٠ حزمة من الصهاريج. حيث تتواجد من أربع إلى ثمانية صهاريج فى كل حزمة، لكن لدى بعض تنقسم مجموعة الصهاريج هذه إلى ثلاث اجزاء: مقرون، وسط ومفروق مشكلين شبكتين أساسيتين شبكة مدخل جولجى (CGN) وشبكة مخرج جولجى. (TGN) شبكة مقرون هي أول صهريج وشبكة مفروق هي آخر صهريج والذي تُجمّع فيه البروتينات داخل الحويصلات التى تغادر إلى الحويصلات الإفرازية أو سطح الخلية. يميل جهاز جولجى لأن يكون أكبر حجما وعددا فى الخلايا التى تُخلّق وتطرح كميات كبيرة من المركبات، على سبيل المثال الخلية البلازمية باء التى تفرز الأجسام المضادة الخاصة بالجهاز المناعي لديها اجسام جولجى كثيرة.

في جميع حقيقيات النواة ، لدى كل حزمة من الصهاريج مدخل ومخرج تتميز هذه الوجوه ببنية وكيميائية حيوية فريدة. توجد داخل الحزم الفردية تشكيلات من الإنزيمات المسؤولة على اختيار وتعديل البروتينات وشحنها، حيث تؤثر هذه التعديلات على مصير البروتين ووظيفته. جهاز جولجي له ميزات في فصل الإنزيمات عن بعضها وبذلك الحفاظ على خطوات معالجة البروتينات الاختيارية والمتواصلة بحيث تُجمع الإنزيمات المحفزة للتعديلات الأولية في مدخل للصهاريج، أما الإنزيمات التي تحفز التعديلات اللاحقة أو الأخيرة فتوجد في مخرج الصهاريج لحزمة جهاز جولجي.



التركيب الكيميائي Chemical composition

يتركب جهاز جولجي من البروتينات و الدهون proteins & fats و تكون الدهون موجودة بصورة مقنعة masked form أى تكون متحدة بالبروتينات و لكن بطريقة معينة بحيث لا تعطى نتائج ايجابية عند ذوبانها فى مذيبات الدهون أو صباغتها بواسطة الصبغات الخاصة بالدهون و لكن فى بعض الحيوانات تكون الدهون غير مقنعة كما فى الخلايا التناسلية للحفقيات و الرخويات و أيضا عند تقدم عمر الحيوان تتحول الدهون من الصورة المقنعة الى الصورة غير المقنعة فى كل من الفقاريات و اللافقاريات .

الشكل العام و الحجم و التوزيع Form, size and distribution

كل نوع من أنواع الخلايا الحيوانية يحتوى على شكل مميز و خاص من جهاز جولجي و يختلف هذا الشكل داخل الخلية الواحدة طبقا لنشاطها و أيضا عمرها . فعلى سبيل المثال عند تجويع الحيوان (الأرنب) نجد أن جهاز جولجي فى الخلايا الطلائية للمعدة

و الأمعاء يصبح فى صورة حبيبات و لكن عند تغذية الحيوان يعود جهاز جولجى الى شكله الطبيعى الذى كان عليه قبل عملية التجويع • أيضا يتكسر جهاز جولجى الى جسيمات صغيرة عندما تدخل الخلية فى عملية المحافظة على النوع تنتشر بالتساوى داخل سيتوبلازم الخلية و هذا يؤدى الى توزيع هذه الجسيمات بالتساوى بين الخليتين الناتجتين من عملية الانقسام برغم من عدم التوزيع بالتساوى أثناء مراحل الانقسام يختلف حجم جهاز جولجى من خلية الى أخرى تبعا لنوع الخلية و نشاطها • فى الخلايا النشيطة يكون أكبر حجما من الخلايا الأخرى الأقل نشاطا • بينما توزيع جهاز جولجى داخل الخلايا يكون ثابت و مميز لكل نوع من الخلايا ، فعلى سبيل المثال يكون منتشر فى السيتوبلازم كما فى الخلايا العصبية للحيوانات اللافقارية أو يكون محيطا بالجسم المركزى كما فى الخلايا التناسلية أو على شكل شبكة محيطة بالنواة كما فى الخلايا العصبية للفقاريات ، كما يقع بين النواة و القطب الاخراجى كما فى خلايا الغدد القنوية.

التغيرات المرضية لجهاز جولجى

جهاز جولجى جهاز حيوى يستجيب لأنواع الأنشطة الحيوية المختلفة ، فتؤثر الحالات الفسيولوجية و المرضية المختلفة على حجم الجهاز و وظيفته و تركيبه و مكان تواجدته • و قد تم رصد العديد من التغيرات المورفولوجية كما يلى:-

١- يتسبب نقص فيتامين ب المركب فى تكسير و تفتت جهاز جولجى فى الخلايا العصبية للتدييات الى جسيمات صغيرة تتركز حول النواة و باستمرار نقص هذا الفيتامين يستمر تفتت جهاز جولجى الى جسيمات يصعب مشاهدتها •

٢- يهاجر جهاز جولجى للخلايا العصبية من مكانه الأسمى حول النواة الى حافة الخلية عند قطع العصب الوركى.

٣- عند معاملة الخلايا بالمبيدات الحشرية تحدث تغيرات فى مورفولوجية جهاز جولجى حيث يفتت الجهاز و باستمرار التعمل مع المبيدات الحشرية يبدأ جهاز جولجى فى عملية الاختفاء تدريجيا.

٤- يتكسر أيضا جهاز جولجي الى جسيمات صغيرة عند تعرض الخلية للتسمم بمادة المورفين و مع استمرارية التسمم بالمورفين تبدأ جسيمات جهاز جولجي فى الاختفاء تدريجيا .

النقل الحويصلى

توجد ثلاثة انواع من الحويصلات تستخدم فى عملية النقل و هى:-

١-حويصلات تكوينية حويصلات تحتوي على بروتينات وجهتها خارج الخلية. بعد التجميع، تتبرعم الحويصلات وتنتقل مباشرة نحو الغشاء البلازمي وتندمج معه محررة محتواها في المحيط خارج الخلوي في عملية تعرف بالإفراز.

٢-حويصلات إفرازية حويصلات تحتوي على بروتينات وجهتها خارج الخلية. بعد التجميع، تتبرعم الحويصلات ويتم تخزينها في الخلية حتى تُعطى إشارة لإفرازها، عند استقبال هذه الإشارة تتحرك الحويصلات نحو الغشاء وتندمج معه لتحرير حمولتها تعرف هذه العملية بالإفراز المنظم.

٣-حويصلات ليسوسومية حويصلات تحتوي على بروتينات وريبوسومات وجهتها للليسوسوم وهو عضوية محللة أو عضيات تخزين مشابهة للليسوسوم، تشمل هذه البروتينات كلا من البروتينات الهضمية والغشائية، ثم ينتقل المحتوى إلى الليسوسوم عبر آليات غير معروفة.

وظائف جهاز جولجي

يؤدى جهاز جولجي العديد من الوظائف منها

١-يرتبط جهاز جولجي بتكوين الافرازات فى أنواع مختلفة من الغدد خارجية الافراز مثل افراز انزيم الببسين بواسطة الخلايا الببسينية فى المعدة و الصفراء فى الخلايا الكبدية و حبيبات الزيموجين وهي إنزيمات خاصة بالبنكرياس، ولكنها غير نشطة و يساعد جولجي فى اطلاقها فى صورة نشطة.

٢-يقوم جهاز جولجي بتكوين الجسم القمى للحيوان المنوى .

- ٣- يعتبر جهاز جولجى مركز تكوين المواد المخاطية فى الخلايا المخاطية
- ٤- تواجد فيتامين أ فى الخلايا الحيوانية مرتبط بجهاز جولجى فعلى سبيل المثال يعمل جهاز جولجى على افراز أو تركيز فيتامين أ فى الخلايا العصبية الثمبتاوية للتدبيات فى حين أن يقوم جهاز جولجى بعزل أو فصل فيتامين أ فى الخلايا الكلوية .
- ٥- يختص جهاز جولجى فى الخلايا المعدية بتخليق الدهون من الاحماض الدهنية و الجلسرين .
- ٦- جهاز جولجى داخل الخلايا المكونة للغشاء الزلالى للمفاصل يرتبط بافراز السائل الزلالى بين المفاصل .
- ٧- يلعب جهاز جولجى دورا حيويا فى تكوين مادة المينا للأسنان من الخلايا المسئولة عن تكوين السنة .
- ٨- يرتبط جهاز جولجى بتكوين الحبيبات الملونة أو الصبغية فى قزحية العين .
- ٩- يقوم جهاز جولجى بدور فعال فى المحافظة على النسل و ذلك بتكوينه المح الدهنى فى البويضات و تكوين الأكروسومو هو الجزء الأمامى من جسم الحيوان المنوي.
- ١٠- يساهم جهاز جولجى فى افراز انزيمى الفوسفاتيز الحمضى و القلوى .
- ١١- يلعب جهاز جولجى دور فى ظهور مظاهر الشيخوخة عند تقدم عمر الحيوان
- ١٢- يشارك جهاز جولجى فى نضج البروتينات و انطلاقها بعد ذلك فى السيتوبلازم.
- ١٣- يعمل جهاز جولجى على سحب الماء الزائد عن حاجة المواد الافرازية المتكونة و تحويلها الى حبيبات متماسكة .
- ١٤- هل تعلم أختى الطالب .٠ أختى الطالبة أن جهاز جولجى هو المصنع الربانى الوحيد المسئول على تخليق المواد عديدة التسكر المعقدة ؟

١٥- يقوم جهاز جولجي بدور هام في تمييز الخلايا الجنينية و ذلك لوجوده في

• حالة نشاط أثناء تمييز الخلايا

١٦-يقوم جهاز جولجي بمعالجة البروتينات القادمة من الشبكة الإندوبلازمية وتجميعها وشحنها إلى وجهاتها المختلفة داخل وخارج الخلية.

١٧-تُجمّع البروتينات المخلفة في الشبكة الإندوبلازمية في حويصلات وترسل إلى جهاز جولجي حيث تندمج معه، وعليه يمكن اعتبار جهاز جولجي كمركز نقل وتوزيع الشحنات وإرسالها إلى أماكن مختلفة من الخلية أو إلى المحيط خارج الخلوي. يقوم جهاز جولجي كذلك بنقل الليبيدات.

١٨-العمل كممر إجباري لكافة المواد التي تفرزها الخلية، حيث يتم إفراغها باستخدام الحويصلات الواصلة بين جسم جولجي وبين سطح الخلية.

١٩-امتصاص مركبات مختلفة: يستطيع جهاز جولجي امتصاص بعض المركبات في جسم الكائن الحي، مثل الحديد والنحاس والذهب .

٢٠-تكوين الحويصلات الإفرازية: الإفراز هو الوظيفة الأساسية لجهاز جولجي ، حيث تُنقل المنتجات المصنوعة من الشبكة الإندوبلازمية الخشنة إلى منطقة جهاز جولجي ، ومن هناك تخرج في صورة إفرازات.

٢١-إفراز الهرمونات: يساعد جسم جولجي الموجود في خلايا الغدد الصماء في إفراز الهرمونات، وتشير الدراسات إلى أنّ أي ضرر يحدث في جهاز جولجي بهذه الخلايا، يؤدي إلى انخفاض إفراز الهرمونات.

٢٢-إفراز البروتينات السكرية: وتتكون هذه البروتينات عند اتحاد الكربوهيدرات مع منتجات البروتين في الشبكة الإندوبلازمية.

الليسوسومات Lysosomes

العالم دي ديوف ١٩٥٤ أول من وصف الليسوسومات لأول مرة في خلايا كبد الفأر و كان يعتقد أنها عبارة عن أحد أشكال الميتوكوندريا و بمتابعة الأداء الوظيفي لها لاحظ

أنها تؤدي وظيفة مختلفة عن وظائف الميتوكوندريا فأطلق عليها مسمى الليسوسومات و قد تم وصفها بعد ذلك في معظم الخلايا الحيوانية .

الليسوسومات

عبارة عن عضيات موجودة في الخلايا الحيوانية تحتوي على إنزيمات هاضمة تقوم بتفكيك الزائد أو الهالك من العضيات والغذاء والفيروسات والبكتيريا. ويحيط بالليسوسوم غشاء له دور هام جدا في عمل العضيات، أيضا عبارة عن عضيات غشائية شبة كروية الشكل توجد في الخلية تشبة في عملها عمل الجهاز الهضمي عند الإنسان إذ تحتوي على إنزيمات نشط تعمل الأجسام الحالة على تحويل المواد معقدة التركيب مثل الدهون والكاربوهيدرات والأجسام الغريبة إلى مواد بسيطة التركيب تسهل عملية امتصاصها.

وهي تتكون في البداية من إضافة الإنزيمات المحللة hydrolytic enzymes إلى جسيم داخلي endosomes الناتج من جهاز جولجي و حجم الجسيمات الحالة يتراوح من ٠,١ ميكرومتر إلى ١,٢ ميكرومتر. مع درجة حموضة تتراوح من ٤,٥ إلى ٥,٠، يكون الجزء الداخلي من الجسيمات الحالة حامضياً مقارنة بالسائل الخلوي (٧,٢) وتوجد اللايسوسومات في جميع الخلايا الحيوانية تقريبا، وتوجد بوفرة في الخلايا التي تقوم بنشاط ابتلاعي، مثل: الخلايا الأكلة الكبيرة وخلايا الدم البيضاء. ويلاحظ أن بروتينات غشاء اللايسوسوم مرتبط بها جليكوزيلات، مما يعمل على حماية هذا الغشاء من تأثير الإنزيمات الهاضمة للبروتينات الموجودة داخل اللايسوسومات.

تركيب الليسوسوم Structure of lysosome

تبدو الليسوسومات على هيئة حبيبات أو حويصلات صغيرة بواسطة الميكروسكوب الضوئي في حين أنها تبدو على هيئة أكياس صغيرة محاطة بغشاء رقيق ذو تركيب دهني بواسطة الميكروسكوب الإلكتروني و تتميز الليسوسومات باحتوائها على انزيمات تحلل مائي تعمل في وسط حمضي مثل الفوسفاتيز الحمضي و الريبونيوكليز و الدى أكسى ريبونيوكليز و تعمل هذه الانزيمات على هضم أو تكسير أو تحلل المواد الخلوية

المختلفة مثل البروتينات و الكربوهيدرات و الأحماض النووية و غيرها . . هل تعلم أن خروج هذا الانزيم خارج الغشاء الذى يحيط به يؤدي الى موت الخلية و بذلك تسمى الليسوسومات بالأكياس الانتحارية .

حجم و توزيع الليسوسومات

توجد الليسوسومات أينما توجد وحدات جهاز جولجى حيث أنه هناك علاقة وثيقة بين الليسوسومات و موقع جهاز جولجى فى الخلية وقد أوضحت الدراسات أن الليسوسومات الأولية انما تنشأ جزئياً من جهاز جولجى و بالتالى من الطبيعى أن يكون مكان الليسوسومات ملازم لموقع جهاز جولجى فى الخلية . يختلف حجم الليسوسومات باختلاف نوع ونشاط الخلية كلما كانت الخلية نشيطة كلما كانت تحتوى على ليسوسومات ذات أحجام كبيرة .

إنزيمات الجسيمات الحالة

من أهم الإنزيمات الموجودة داخل الليسوسومات: إنزيم الليبيز الذى يقوم بهضم الدهون. إنزيم الكربوهيدريز الذى يقوم بهضم النشويات. إنزيم البروتينيز الذى يقوم بهضم البروتينات. إنزيم النيوكلييز الذى يقوم بهضم الأحماض النووية. وتتكون إنزيمات الجسم الحال فى العصارة الخلوية والشبكة الإندوبلازمية.

أنواع الليسوسومات Types of lysosomes

يمكن تمييز أربعة أنواع من الليسوسومات :-

١- الليسوسومات الأصلية أو الأولية

و يقصد بها كيفية تكوين الليسوسومات . . الريبوسومات التى توجد على غشاء الشبكة الاندوبلازمية تقوم بتخليق انزيم الفوسفاتيز الحمضى و تجميعه داخل تجويف الشبكة الاندوبلازمية ، ثم ينفذ هذا الانزيم خارج الشبكة الاندوبلازمية ويتم تجميعه داخل الحويصلات الصغيرة الخاصة بجهاز جولجى ويعرف هذا التركيب (حويصلة صغيرة تحتوى على انزيم الفوسفاتيز الحمضى) بالليسوسوم الأبتدائى و على ذلك يمكن القول بأن الليسوسومات الأولية تنشأ جزئياً من جهاز جولجى .

٢- الليسوسومات الثانوية (الفجوات الهضمية أو الأجسام البلعومية المخالفة) هذا النوع من الليسوسومات يقوم بابتلاع الكائنات الغريبة التي تدخل الخلية و يقوم بتفتيتها و تحطيمها بواسطة انزيم الفوسفاتيز الحمضى و فى النهاية تمر نواتج عملية التفتيت من خلال غشاء الليسوسوم الى سيتوبلازم الخلية و بالتالى يعمل هذا النوع من الليسوسومات كوسيلة دفاع للخلية .

٣- ليسوسومات البلعمة الذاتية The autophagic lysosomes يقوم هذا النوع من الليسوسومات بابتلاع أجزاء من الخلية مثل المتوكندريا، الشبكة الاندوبلازمية ، جهاز جولجى و هكذا و قد تؤدي هذه العملية الى موت الخلية و لذا يعرف هذا النوع من الليسوسومات بالاكياس الانتحارية.

٤- ليسوسومات الأجسام المستبقاه The residual lysosome bodies و يقصد بها الليسوسومات المحتوية على المواد المتخلفة غير المهضومة حيث تقوم هذه الليسوسومات بتفتيت هذه هذه المواد الى جزيئات صغيرة تستطيع الخلية أن تتخلص منها.

وظائف الليسوسومات Functionl significance of lysosomes

١- تشارك الليسوسومات فى عملية الهضم داخل الخلايا و تكوين حبيبات دهنية ملونة .

٢- تقوم الليسوسومات بدور أساسى فى أيض المواد الكربوهيدراتية ، حيث أنها توجد بكثرة فى الخلايا أثناء أيض المواد الكربوهيدراتية .

٣- تلعب الليسوسومات دورا أساسيا فى التخلص من الأنسجة الزائدة عن حاجة جسم الحيوان و ذلك بابتلاعها .

٤- تساعد الليسوسومات فى عملية تسهيل دخول الحيوان المنوى فى البويضة .

٥- الليسوسومات لها اتصال وثيق بكثير من الظواهر البيولوجية و المرضية مثل التشكل و الشيخوخة و تحول الخلايا العادية الى خلايا سرطانية .

سلوك الليسوسومات Behaviour of lysosomes

تتأثر الليسوسومات بكثير من العوامل غير الطبيعية من الناحية الفسيولوجية و التركيبية كما يلي

١- اذا تعرضت الليسوسومات لأشعة اكس تتجمع فى بعض الخلايا مثل الخلايا العصبية أو تنفتت و تختفى فى نوع آخر من الخلايا مثل الخلايا الكبدية ، بينما تعرض الخلايا لفترات طويلة لأشعة اكس يؤدي الى انفجار الاغشية البلازمية للخلايا .

٢- يؤدي تجويع الحيوان الى نقصان فى عدد الليسوسومات و باستمرار حالة التجويع تختفى الليسوسومات تماما من الخلايا .

٣- عندما تستعد الخلايا للدخول فى مرحلة الشيخوخة يكون ذلك مصحوب بنقصان فى عدد الليسوسومات و خصوصا فى الخلايا الكبدية .

٤- اصابة الخلايا ببعض الأمراض يؤدي الى نقصان فى عدد و حجم الليسوسومات مثال لذلك الخلية الكبدية عندما تصاب بمرض السرطان تقل فيها أعداد الليسوسومات

داء الاختزان فى الجسيم الحالّ – Lysosomal Storage Diseases

يمكن لبعض الأمراض الوراثية أن تحدث مشاكل فى أداء الجسيمات الحالة، تُسمى تلك الأمراض بأمراض الاختزان فى الجسيمات الحالة LSDs و يبلغ عددها حوالي ٥٠ مرضًا مختلفًا، وهي أمراض نادرة الحدوث. تحدث تلك الأمراض عندما يفتقد المريض إحدى الإنزيمات التي تحلل الجزيئات الكبيرة مثل البروتينات والدهون فتتراكم تلك الجزيئات فى الخلية ما يتسبب فى تدميرها.

مرض البله المميت – Tay-Sachs: هو مثال مشهور لأحد أمراض LSD يُورث بشكل متنحّ، تتراكم الدهون السكرية glycolipids فى المخ وتتداخل مع أداء المخ لوظيفته؛ ما يؤدي إلى تدمير الخلايا العصبية وتعطيل الوظائف الجسدية والعقلية. لا يوجد علاج، وغالبًا يحدث الموت فى سن الرابعة. تكون بعض أمراض LSD مرتبطة بالجنس؛ أي تحدث بسبب طفرة فى كروموزوم x مثال مرض فابري – Fabry

disease تشمل الأعراض الإرهاق وآلام شديدة في الأطراف أو الجسم كله، طنين الأذن و غثيان ومشاكل في القلب والكلى، بثور على الجلد.

أجسام نسل Nissl bodies

أول من تحدث عن هذه العضيات الدقيقة نسل عام ١٨٨٩ م موضحاً أن هذه الأجسام لا توجد سوى في الخلايا العصبية . ووصفت هذه الأجسام بالأجسام الملونة أو الأجسام القاعدية نظراً لقابليتها الشديدة للصبغة بالصبغات القاعدية و هذه الأجسام لا توجد فقط الا في الخلايا العصبية لذا تعد هذه الأجسام مميزة للخلايا العصبية عن غيرها . وتشغل أجسام نسل موقعين من المواقع الثلاثة داخل الخلية العصبية في كل من السيتوبلازم و التفرعات الشجرية بينما تفتقر الوجود في المحاور لهذه الخلايا .

التركيب الكيميائي لأجسام نسل

تتكون أجسام نسل من بروتين نووي ٠٠٠ و البروتين النووي عبارة عن بروتين بسيط مثل الهستادين و الحمض النووي ر ن أ و هذا يتشابه مع الريبوسومات التي تمتلك نفس التركيب أي بروتين نووي ولكن نوع البروتين مختلف ٠٠٠ سبحان من يقول للشئ كن فيكون ٠٠ قال سبحانه و تعالى للبروتين النووي كن ريبوسوم فأصبح ريبوسوم ٠٠ كن حبيبات أو أجسام نسل فقال سمعا و طاعة و شتان بين وظيفة الريبوسوم و جسم نسل •

الأهمية الفسيولوجية لأجسام نسل

قد لا يعطى بعد العاملين في حقل البحث العلمي أهمية لهذه الأجسام على أساس أنها قاصرة على نوع واحد من الخلايا وهذا هو الخطأ الكبير • لماذا؟ و الأجابة واضحة وضوح الشمس في مدارها و هي أن الخلية العصبية ليست مثل أي نوع من الخلايا حيث يتكون منها الجهاز العصبي الذي يسيطر و يتحكم في جميع العمليات الحيوية التي تحدث داخل جسم الكائن الحي • و من هذا المفهوم و جب علينا التعرف على الأهمية الفسيولوجية لأجسام نسل و تتمثل في الآتى:-

١- يعتقد بعض الباحثين أن هذه الأجسام تقوم باختزان الأكسجين في الخلايا العصبية و بالتالى تم استنتاج أن هناك علاقة وثيقة بين هذه الأجسام و الأنشطة الوظيفية لهذه الخلايا و ذلك من خلال حالات الأجهاد التى يتعرض لهل الحيوان و التى معها تختفى هذه الأجسام و عودتها مرة أخرى عند حصول الحيوان على قسط من الراحة ؟

٢- أجسام نسل تتأثر بالحالة الفسيولوجية للخلية العصبية . . فعند قطع العصب مثلا تختفى أجسام نسل بعد أيام قليلة و أيضا تتضاءل كمية الأحماض النووية الى حد كبير جدا و هذا يدل على أن أجسام نسل لها علاقة وثيقة بعملية تواجد البروتينات النووية و الوظائف الحركية و الحسية للخلايا العصبية.

٣- هجرة أجسام نسل من مناطق تواجدها الأصلية الى محور الخلية العصبية بعد موتها دليل واضح و مدعم للقول بأن أجسام نسل تخزن الأكسجين حيث هجرة هذه الأجسام ماهى الا بحثا عن الأكسجين .

الجسم المركزى central body

الجسم المركزى هو أحد العضيات الحية السيتوبلازمية داخل الخلية و يعرف أيضا بمركز الانقسام و هو يوجد فى جميع الخلايا الحيوانية فيما عدا كرات الدم الحمراء كاملة التكوين و يلعب دورا هاما و حيويا فى عملية انقسام الخلية . يوجد الجسم المركزى فى الخلية البينية قريبا من النواة و أحيانا يشغل المركز الهندسى للخلية و بالرغم من ذلك فالجسم المركزى له موقع مميز خاص بكل نوع من أنواع الخلايا الحيوانية .

التركيب Structure

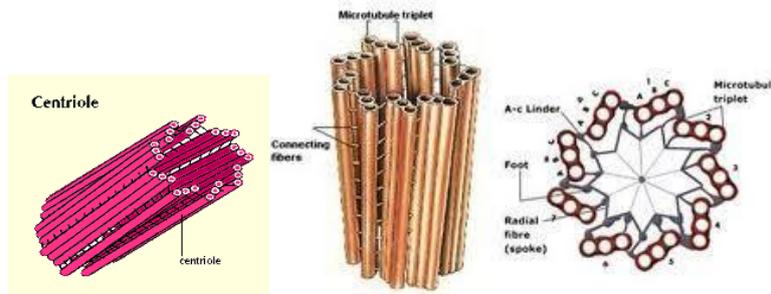
عند دراسة تركيب الجسم المركزى فى الخلية لابد من دراسة الخلية و هى حية و أيضا و هى مثبتة . . فى الخلية الحية تمكن كليفلاند (١٩٥٣) من مشاهدته بواسطة الميكروسكوب الضوئى وذلك فى الخلايا الليفية أثناء انقسامها ملاحظا سلوكا خاصا و خصائص عامة و ميلا لنوع معين من الصبغات كل هذا يؤكد حقيقة تواجده فى السيتوبلازم . و يظهر الجسم المركزى فى التحضيرات المصبوغة على هيئة حبيبية

واحدة أو حبيبتين و تسمى بالحبيبة المركزية أو السنتريول و تحاط الحبيبة أو حبيبتين منطقة رائقة تسمى المركز الدقيق تليها منطقة معتمة تسمى الكرة المركزية و منها تنشأ الأشعة النجمية و من الطبقة الرائقة تنشأ خيوط المغزل.

التركيب الدقيق للحبيبة المركزية Ultra structure of the centriole

تبدو الحبيبة المركزية تحت الميكروسكوب الألكترونى على هيئة جسم اسطوانى صغير جداره عبارة عن تسع مجموعات أنبوبية كل مجموعة تتكون من ثلاثة أنابيب و مركز الجسم الأسطوانى لا يحتوى على أى تراكيب و لذلك الصيغة البنائية للحبيبة المركزية يشار إليها بـ 9 + صفر.

لاحظ بعض الباحثين وجود جسيمات معينة حول السنتريول عرفت بالتوابع و لكن البعض الآخر وصف هذه الجسيمات على أنها حبيبات مركزية بنوية يبدو أنها تنشأ من الحبيبة الأم و يمكن ربط هذه الحبيبات بعملية تضاعف الحبيبة المركزية و قول آخر بأن الجسيمات الموجودة حول الحبيبة تراكيب ليست مستديمة و لكنها تظهر بصورة مرحلية ترتبط بدورة نشاط الحبيبة المركزية



شكل (٨) الجسم المركزى

وظيفة الجسم المركزى Function of the cell center

يتمثل الدور الرئيسى للجسيم المركزى على النحو الآتى: التنظيم داخل الخلايا للأنايب الدقيقة أثناء انقسام الخلية: يعمل الجسيم المركزى على التكوين الصحيح وتوجيه الخيوط المغزلية للقيام بالانقسام، مما يضمن الفصل المناسب للكروماتيدات الشقيقة لكل خلية من الخلايا الوليدة. التحكم في الشكل الخلوي والقطبية والتكاثر والتنقل

وانقسام الخلية. التنسيق بين مجموعة متنوعة من العمليات الخلوية، بما في ذلك حركة الخلية، والإشارات، التصاق وتحريك البروتينات بواسطة الهيكل الخلوي الدقيق وإكساب الخلية نوعاً من القطبية. تحديد المسارات التي يمكن من خلالها نقل المكونات الخلوية المختلفة إلى أجزاء مختلفة من الخلية، والمساعدة في تحديد السرعة التي تتحرك بها المكونات على طول مسارات النقل، ويعمل كمركز إشارات الجسيم المركزي ودوره في الانقسام المتساوي تتكون دورة الجسيم المركزي من 4 مراحل رئيسية في كلا الطورين، الطور البيني و طور الانقسام المتساوي كالآتي:

المرحلة G1 من دورة الخلية يتضاعف فيها الجسيم المركزي. مرحلة G2 ينضج فيها الجسيم المركزي. المراحل الأولى من الانقسام المتساوي (الطور التمهيدي) حيث يحدث الفصل بين الجسيمين المركزيين. مراحل الانقسام المتساوي الأخيرة (الطور النهائي) ينفصل فيها الكروموسومات بمساعدة الجسيمات المركزية. و للجسيم المركزي أهمية كبرى في تنظيم انقسام الخلايا، وتنظيم الانتقال بين مراحل الانقسام في الطور البيني، أهمها الانتقال من مرحلة G1 إلى مرحلة S، في حالة عدم وجود الجسيمات المركزية، تنخفض دقة انقسام الخلية كحدوث مشكلات مثل الانقسام الاختزالي وانقسامات الخلايا غير المتكافئة، مما يؤدي إلى حدوث طفرات كروموسومية وأحياناً تطور الخلايا السرطانية.

الأهداب و الأسواط Cilia and Flagella

الأهداب و الاسواط هما نوعان مختلفان من الزوائد المجهرية على الخلايا إذ اكتشفهما العالم Leeuwenhoek في أواخر القرن السابع عشر ، توجد الأهداب في كل من الحيوانات والكائنات الحية الدقيقة. تستخدم البكتيريا والأمشاج حقيقيات النوى الاسواط في الحركة. تخدم الأهداب و الاسواط وظائف الحركة في الخلية، ولكن بطرق مختلفة. توجد الأهداب و الاسواط كعضيات في الخلايا وهي تؤدي وظائف الدفع، والأجهزة الحسية، وآليات التنظيف، والعديد من الوظائف المهمة الأخرى في الكائنات الحية.

ما هي (الأهداب – Cilia)؟

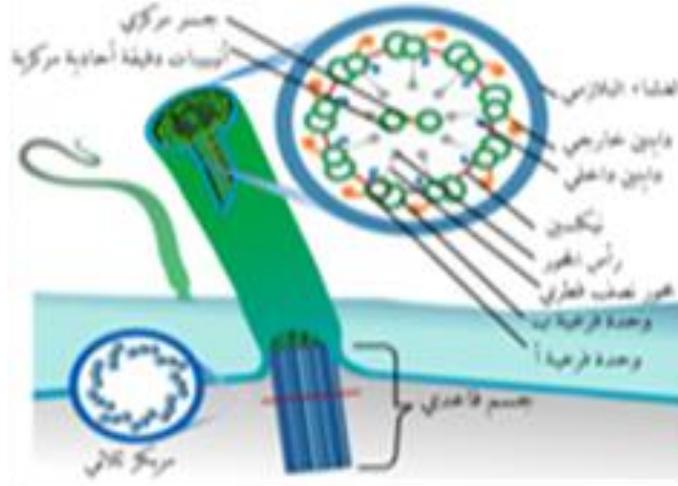
الأهداب ، وبعد تطور المجهر لوحظ وجود أهداب معظمها في الحيوانات، في جميع أنواع الخلايا تقريبًا. وعُثر أيضًا على بعض الأهداب في الخلايا النباتية على شكل أمشاج. تتكون الأهداب من ٩ مجموعات من الأنابيب الدقيقة، كل مجموعة عبارة عن انبوتان و يوجد في المركز زوج من المجموعات الانبوبية ، المغطى بغشاء البلازما، يصنع الجسم الخلوي البروتينات الهدبية وينقلها إلى رأس الخيط المحوري، وتسمى هذه العملية (النقل داخل الأهداب أو النقل داخل الاسواط. يعتقد العلماء حاليًا أن حوالي ١٠% من الجينوم البشري مخصص للأهداب ونشأتها. يتراوح طول الأهداب بين ١- ١٠ ميكرومترات. وتعمل هذه العضيات التي تشبه الشعر على تحريك الخلايا ونقل المواد. يمكنها أيضًا نقل السوائل في الكائنات البحرية كالمحار، حتى تتمكن من نقل الطعام والأكسجين. تساهم أهداب التنفس في منع الحطام ومسببات الأمراض المحتملة من غزو الجسم. تلعب الأهداب دورًا فعالًا في دورة حياة الخلية وتلعب أيضًا دورًا مهمًا في الاتصال الخلوي.

ما هي الاسواط – Flagella؟

الاسواط هي الزوائد التي تساعد على تحريك البكتيريا والأمشاج حقيقيات النوى، وبعض الحيوانات الأولية. توجد الاسواط غالبًا بصورة مفردة، مثل: الذيل. تكون الاسواط عادةً أطول من الأهداب في بدائيات النوى، وتعمل بمثابة محركات صغيرة دوارة في حقيقيات النوى، وتزيد سلاسة الحركة.

السوط flagellum بنية سطحية لخلايا حقيقيات النوى أو بدائيات النوى تساعد على الحركة في الوسط السائل أو على سطح وسط جامد. توجد فروق هامة بين الاسواط عند حقيقيات النوى وبدائيات النوى من حيث تركيبها البروتيني وآلية الدفع والبنية، حيث سمك السوط عند البكتيريا من ١٠ إلى ٢٠ نانومتر، ولذلك لا يمكن رؤيته بواسطة المجهر الضوئي، وطوله ٣-١٥ ميكرون، بينما قد يصل سمك السوط عند حقيقيات النوى إلى ٢٠٠ نم وطوله إلى ٢٠٠ ميكرون. وتتشابه بنية السياط والأهداب عند حقيقيات النوى، وقد تختلف بالوظيفة أو الطول. تعمل سوط بدائية النواة في حركة دوارة ، بينما تعمل سوط حقيقيات النوى في حركة منحنية. يستخدم الأسواط بدائية

النواة محرّكًا دوارًا ، ويستخدم الأسواط حقيقية النواة نظام خيوط انزلاقي معقد. سوط حقيقيات النواة و سوط بدائية النواة يحركها ATP.



الهيكل الخلوي

الهيكل الخلوي هو شبكة مكوّنة من البروتينات الموجودة في جميع أجزاء السيتوبلازم. كلمة خلوي ترتبط بالخلية، فمصطلح «الهيكل الخلوي» يعني هيكل الخلية. والهيكل الخلوي مكوّن من خيوط دقيقة، وخيوط متوسطة، وأنابيب دقيقة. تثبت هذه البروتينات العُضَيّات الأخرى في مكانها حتى لا تسبح في السيتوبلازم عشوائيًا. الهيكل الخلوي هو شبكة مكونة من خيوط بروتينية داخل الخلية تحدد موضع العُضَيّات، وتوفر الدعامة التركيبية، وتسمح لبعض الخلايا بالحركة. أيضًا، يعمل الهيكل الخلوي باعتباره مسارات يمكن للعُضَيّات استخدامها للانتقال من مكان إلى آخر. الهيكل الخلوي هو ما يسمح لخلايا محددة مثل الأنواع التي تنتمي إلى جنس حقيقيات النوى وحيدة الخلية التي تسمى «الأميبيا» بالتحرك وحدها كما أنه يؤدي دورًا مهمًا في الانقسام الخلوي.

يتكون الهيكل الخلوي للخلية من الأنابيب الدقيقة وخيوط الأكتين والخيوط الوسيطة. تعطي هذه الهياكل الخلية شكلها وتساعد في تنظيم أجزاء الخلية. بالإضافة إلى ذلك ، فإنها توفر أساسًا للحركة وانقسام الخلايا. الهيكل الخلوي هو هيكل يساعد الخلايا في

الحفاظ على شكلها وتنظيمها الداخلي ، كما أنه يوفر الدعم الميكانيكي الذي يمكّن الخلايا من القيام بالوظائف الأساسية مثل الانقسام والحركة. لا يوجد مكون هيكلي خلوي واحد. بدلاً من ذلك ، تعمل عدة مكونات مختلفة معًا لتشكيل الهيكل الخلوي.

البيروكسيسومات

البيروكسيسومات هي حويصلات صغيرة ، عضيات مرتبطة بغشاء واحد توجد في الخلايا حقيقية النواة. أنها تحتوي على إنزيمات هضمية لتفكيك المواد السامة في الخلية والإنزيمات المؤكسدة للنشاط الأيضي. إنها مجموعة غير متجانسة من العضيات ووجود إنزيمات العلامة يميزها عن عضيات الخلية الأخرى. تلعب البيروكسيسومات دورًا مهمًا في إنتاج الدهون وتشارك أيضًا في تحويل أنواع الأكسجين التفاعلية مثل بيروكسيد الهيدروجين إلى جزيئات أكثر أمانًا مثل الماء والأكسجين بواسطة إنزيم الكاتالاز.

تحدث البيروكسيسومات في الغالب كعضية فردية ، على سبيل المثال في الخلايا الليفية. توجد أيضًا في شكل أنابيب مترابطة في خلايا الكبد تُعرف باسم شبكية بيروكسيسوم. تختلف البيروكسيسومات في الشكل والحجم والعدد حسب متطلبات الطاقة للخلية. هذه مصنوعة من طبقة ثنائية الفوسفوليبيد مع العديد من البروتينات المرتبطة بالغشاء. يتم تصنيع الإنزيمات المشاركة في التمثيل الغذائي للدهون على الريبوسومات الحرة ويتم استيرادها بشكل انتقائي إلى البيروكسيسومات.

عادة ما يتم تصنيع فوسفوليبيدات البيروكسيسومات في شبكة إندوبلازمية ملساء. بسبب دخول البروتينات والدهون ، ينمو البيروكسيسوم في الحجم وينقسم إلى عضيتين. لا تحتوي البيروكسيسومات على حمضها النووي. يتم نقل البروتينات من العصارة الخلوية بعد الترجمة. الوظيفة الرئيسية للبيروكسيسوم هي التمثيل الغذائي للدهون ومعالجة أنواع الأكسجين التفاعلية. تشمل وظائف البيروكسيسوم الأخرى ما يلي:

١- يشاركون في عمليات الأكسدة المختلفة.

٢- يشاركون في عملية التمثيل الغذائي للدهون وتقويض الأحماض الأمينية

٣- يتم تحويل أنواع الأكسجين التفاعلية مثل البيروكسيدات المنتجة في العملية إلى ماء بواسطة إنزيمات مختلفة مثل البيروكسيداز.

٤- تقوم بأكسدة الأحماض الدهنية بشكل أساسي مع الميتوكوندريا، وتقوم بأكسدة سلاسل طويلة جداً من الحموض الدهنية، بعد تقصير الحموض الدهنية الطويلة إلى ٦-٨ سلسلة في الجسيمات التأكسدية تُتابع أكسدة هذه الحموض في الميتوكوندريا.

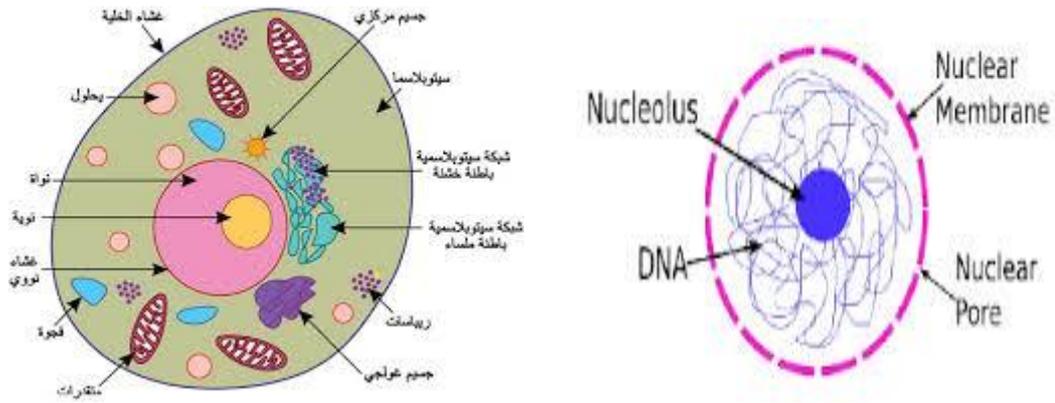
النواة The nucleus

تُعتبر النواة أول عضوية تم اكتشافها بواسطة ليفينهوك (1700) ، حيث لاحظ وجودها في خلايا الدم الحمراء للسالمون على عكس خلايا الدم الحمراء في الثدييات ، تظهر النواة كعضوية كثيفة خشنة ذات شكل كروي، النواة أكبرُ العُضَيَّات في الخلية الحيوانية ، تتضمن النواة أيضاً سائلاً لزجاً يدعى البلازما النووية nucleoplasm أو Karyolymph وهي مشابهة للعصارة الخلوية في التركيب. تتركب النواة الجافة تقريباً من 11% RNA , 1% DNA , 9% هستونات , 65% بروتينات حامضية , 14% بروتينات متعادلة وقلوية.

الهيكل الرئيسية التي تُشكِّلُ النواة هي الغلاف النووي، وهو غشاء مزدوج يُغلفُ النواة ويعزل محتوياتها عن السيتوبلازما الخلوية، وكذلك الصفيحة النووية وهي شبكة من الألياف التي تمنح النواة دعماً ميكانيكياً، كالهيكال الخلوي الذي يدعم الخلية ككل و النوية و الكروموسومات (المادة الوراثية).

بما أن الغشاء النووي غير منفذ للجزيئات الكبيرة، هناك حاجةٌ لوجود مسامات نووية لتنظيم النقل النووي للجزيئات عبر الغلاف النووي. تجتاز المسام النووية طبقتي الغشاء النووي وتوفّر قناةً يمكن للجزيئات الصغيرة والأيونات العبور من خلالها بحرية، بينما تحتاج الجزيئات الأكبر إلى بروتينات حاملة لنقلها بشكل فاعل. بعض الجزيئات الكبيرة مثل البروتينات والحمض النووي الريبوزي RNA تجتاز المسام كشرط لتتمكن من التعبير الجيني والحفاظ على الكروموسومات. على الرغم من أن المنطقة الداخلية من

النواة لا تحتوي على حُجرات داخلية مزودة بغشاء، إلا أنّ محتوياتها غير متجانسة. حيث تتواجد بعض الأجسام المصنوعة من بروتينات معينة، وجزيئات من الحمض النووي الريبوزي RNA ، وأجزاء معينة من الكروموسومات. أشهر هذه الأجسام هو النُوَيَّة، التي تشارك بشكل رئيسي في تجميع الكروموسومات، وكذلك إن الريبوسومات تُصنَّع في النُوَيَّة ومن ثم تنطلق إلى السيتوبلازما، حيث تقوم بترجمة الحمض النووي الريبوزي الرسول mRNA.



شكل (١٠) النواة

الغلاف النوويّ، كذلك يُدعى الغشاء النوويّ وهو طبقة مزدوجة من الغشاء الخلويّ، داخلية وخارجية، متوازيتان وتفصل بينهما ١٠-٥٠ نانومتر. يُغلف الغلاف النووي النواة بالكامل ويفصل المادة الوراثية للخلية عن السيتوبلازم ، فيقوم الغلاف النووي مقام حاجز يمنع انتشار الجزيئات بحرية بين البلازما الخلوية والبلازما النووية. يستمر الغشاء النووي الخارجي مع غشاء الشبكة السيتوبلازمية الداخلية الخشنة كما تستمر المسافة بين الغشائين النوويين مع أجواف الشبكة السيتوبلازمية الداخلية الخشنة .RER

المسام النووية، التي توفر قنوات مائية خلال الغلاف النووي، وتتكون هذه المسام النووية من بروتينات متعددة، يُشار إليها مجتمعةً بالنيوكليوبورينات. توجد أجهزة تنظيمية داخل المسام. يسمح بمرور الجزيئات الصغيرة الذوّابة بالماء، في حين لا يُسمح للجزيئات الكبيرة، مثل الحموض الأمينية والبروتينات الأكبر بالمرور عبر المسام

النووي بشكل خارج عن إرادة النواة. بينما يتم نقل هذه الجزيئات بشكل فاعل عند الحاجة. عند الثدييات، تمتلك نواة الخلية النموذجية حوالي 3000-4000 مسام في جميع أنحاء الغلاف، كلٌّ من هذه المسام تحتوي على هيكل بشكل حلقة مكونة من ستة عشر ضلعاً مَوضَعَةً بشكل يسمح بالتحام الغشائين النوويين الداخلي والخارجي. يرتبط بهذه الحلقة بنية تُدعى بالسلة النووية، تمتد في البلازما النووية، بالإضافة إلى سلسلة من الملحقات الخيطية التي تصل إلى السيتوبلازما. تتواسط هاتان البنيتان بروتينات النقل النووية .

تنتقل معظم البروتينات، ووحدات الريبوسومات الفرعية وبعض الاحماض النووية الريبوزية منقوصة الأوكسجين DNAs عبر مُعَقَّدات المسام عبر عملية تتواسطها عوامل نقل تُدعى بالكاريوفريينات. Karyophreins التي تتواسط دخول جزيئات إلى النواة ، بينما تلك التي تتوسط خروج جزيئات من النواة بمخرجات البروتين تتفاعل معظم الكاريوفريينات مع الحمولة بشكل مباشر، على الرغم من أن بعضها يستخدم بروتينات مُهيَّئة. اما الهرمونات وغيرها من الجزيئات الدهنية الصغيرة الدوّابة التي تشارك بنقل الإشارات بين الخلايا، يمكن لهذه الجزيئات أن تنتشر عبر غشاء الخلية إلى السيتوبلازم، وهناك ترتبط ببروتينات المستقبلات النووية، لتنتقل إلى داخل النواة، حيث تعمل هناك كعوامل نسخ.

الصفحة النووية

توفّر شبكتان من الخيوط الدقيقة الدعم الميكانيكيّ للنواة في الخلايا الحيوانية ، حيث تشكّل الصفحة النووية شبكة منظمة على الوجه الداخلي للغلاف النووي، وشبكة غير منظمة على الوجه المقابل للعصارة الخلوية من الغلاف النووي. كلا الشبكتان توفران دعماً هيكلياً للغلاف النووي وتؤمن ترسيخ مواقع الكروموسومات والمسام النووية . تتكوّن الصفحة النووية في معظمها من بروتينات. البروتينات تصنع في السيتوبلازم وتُنقل لاحقاً إلى داخل النواة، حيث تتجمع قبل أن تُدمج في شبكة الصفحة النووية. ترتبط البروتينات الموجودة على الوجه العصاري الخلوي للنواة من الغلاف النووي ترتبط بالهيكل الخلوي لتقدم دعماً هيكلياً.

الكروموسومات

تحتوي نواة الخلية على معظم المادة الوراثية في الخلية على شكل عدّة جزيئات DNA خطية منتظمة في بُنى تُدعى الكروموسومات أو الصبغيات. تحتوي كل خلية بشرية على حوالي مترين من الحمض النووي. DNA خلال معظم الدورة الخلوية تنتظم هذه الجزيئات ضمن معقد بروتيني من الحمض النووي DNA يُدعى بالكروماتين، وأثناء انقسام الخلية يُمكن رؤية الكروماتين بشكل واضح المعالم على هيئة كروموسومات. نسبة صغيرة من الجينات الخلوية تقع في الميتوكوندريا.

يوجد نوعان من الكروماتين، النوع الاول يعرف بالكروماتين الحقيقي وهو شكل لـ DNA أقل اندماجاً، ويحتوي على جينات، تقوم الخلية بالتعبير عنها. النوع الثاني هو الكروماتين المغاير هو شكل أكثر إحكاماً من الحمض النووي الذي يتم نسخه بشكل غير منتظم أو متكرر. وكذلك يتم تصنيف الكروماتين المغاير إلى كروماتين مغاير اختياري يتألف من الجينات التي يتم تنظيمها ككروماتين مغاير في أنواع خلوية محددة، أو مراحل محددة من التطور، وكروماتين مغاير تأسيسي يتكوّن من مكونات الكروموسومات الهيكلية كالقطعة النهائية التيلومير و السنترومير وخلال الطور البيني ينظم الكروماتين نفسه في نقاط فردية منفصلة، تدعى أقاليم الكروموسوم، وتميل الجينات النشيطة الموجودة عموماً في الكروماتين الحقيقي إلى التوضع على المناطق الحدودية من الكروموسوم. تظهر الألياف المحيطة بالكروماتين مرئية تحت المجهر الإلكتروني. وهي تقع بجوار الكروماتين النشط في النسخ، ويفترض أن تكون محددة لحجم المواقع النشطة في نسخ طليعة رنا المرسال .

النوية

النوية بُنية ملونة كثيفة ومنفصلة موجودة داخل النواة، غير محاطة بغشاء، وتُدعى أحياناً بالعضية الفرعية. تشكّل النوية حولها تكرارات مترادفة من rDNA ، وهو الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسجين الريبوسومي، وهو الـ DNA المرّمز لتصنيع rRNA ، الحمض النووي الريبوزي الريبوسومي الضروري

لتخليق البروتين في الخلية. تُدعى هذه المناطق مناطق التنظيم في النوية. يُعتبر تصنيع rRNA وتجميع الريبوسومات الدورَ الرئيسي الذي تلعبه النوية. يعتمد التماسك الهيكلي للنوية على نشاطها، بالإضافة إلى تجميع الريبوسومات. تم التأكد من هذا النموذج في الحفاظ على الهيكل عبر تثبيط rDNA ، والذي أدى إلى اختلاط هيكل النوية . يبدأ تجميع الريبوسومات عبر بروتين يدعى رنا بوليميراز يقوم بنسخ دنا الريبوسومي rDNA ، من إنترونات من الجينات المُشفرة لrna مرسال mRNA المرتبطة بوظيفة الريبوسومات. تعتبر الوحدات الفرعية للريبوسومات المجتمعة أكبر البنى التي تعبر المسامات النووية .

يُمكن ملاحظة تمايز النوية إلى ثلاث مناطق تحت المجهر الإلكتروني: في العمق نجد المراكز اللييفية، مُحاطةً بالمركب الليفي الكثيف، والذي يُحدّد بالمكوّن الحبيبي. يحدث نسخ rDNA في المراكز اللييفية أو المناطق الحدودية بين المراكز اللييفية والمركب الليفي الكثيف، لذا تتكاثف هذه المنطقة عند نسخ rDNA ، أما عمليات الانقسام وتعديل rRNA تحدث في المركب الليفي الكثيف، بينما تحدث الخطوات اللاحقة في المركب الحبيبي وهي تتضمن تجميع البروتين في الوحدات الفرعية الريبوسومية . تظهر بعض البنى النووية الفرعية كجزءٍ من عمليات مرضية غير طبيعية. على سبيل المثال، ظهور قضبان داخل نووية صغيرة في بعض حالات الاعتلال العضلي الخيطي. هذه الحالة تنجم عن طفرة في الأكتين، وهذه القضبان تتألف من الأكتين الطافر بالإضافة إلى البروتينات الهيكلية الخلوية الأخرى .

أجسام كاخال

تحتوي النواة على ١ إلى ١٠ بنى مُدمجة تُدعى أجسام كاخال أو الأجسام الملتفة، ويتراوح قطرها بين ٠,٢ إلى ٢ ميكرومتر، ويعتمد قطرها على نوع الخلية والنوع الحيوي. تأخذ هذه الأجسام شكل كرات مترابطة تحت المجهر الإلكتروني. وهذه الأجسام عبارة عن كثافة من بروتين الكولين. تشارك أجسام كاخال في أدوار مختلفة

في معالجة الرنا RNA ولاسيما إنضاج رنا النوية الصغير ، وتعديل هستونات رنا الرسول mRNA.

وعلى غرار أجسام كاخال تبدو أجسام الجوزاء الملتفة، والتي اشتُقَّ اسمها من برج الجوزاء، إشارةً إلى علاقتها التوئية مع أجسام كاخال. تتماثل أجسام كاخال وأجسام الجوزاء بالحجم والشكل، وتقريباً لا يمكن التمييز بينهما تحت المجهر. إلا أنه على عكس أجسام كاخال فإن أجسام الجوزاء لا تحتوي على بروتينات ريبونوية صغيرة ولكن تحتوي على بروتين بقاء الخلايا العصبية المحركة، والذي ترتبط وظيفته بتخليق البروتين الريبونوي الصغير السابق الذكر. اقترح بناءً على الدراسة المجهرية كون أجسام كاخال وأجسام الجوزاء مظهرين مختلفين للبنية ذاتها إلا أن دراسات بنيوية لاحقة أظهرت تطابقهما باستثناء وجود اختلاف في البنية متعلق بمركب الكولين، حيث أجسام كاخال تحتوي على بروتين بقاء الخلايا العصبية المحركة وبروتين الكولين، أما أجسام الجوزاء فتحتوي على بروتين بقاء الخلايا العصبية المحركة فيما لا تحتوي على بروتين الكولين .

الوظيفة

توفّر النواة موقعاً لنسخ الجينات منفصلاً عن موقع الترجمة في السيتوبلازم، مما يتيح مستويات تنظيمية للجينات غير متوفرة في بدائيات النوى. الوظيفة الأساسية لنواة الخلية هي التحكم في التعبير الجيني، والتوسط في نسخ الدنا خلال دورة الخلية. تخزين المعلومات الوراثية للخلية في شكل حمض نووي DNA هذا الحمض النووي يحمل التعليمات الخاصة بكيفية عمل الخلية و يتم تنظيم جزيئات الحمض النووي في هياكل خاصة تسمى الكروموسومات. يحمل الحمض النووي DNA الجينات و هي التي تحمل المعلومات الوراثية مثل لون العينين و الطول. ويتم تنظيم جزيئات الحمض النووي الدنا، جنباً إلى جنب مع مجموعة متنوعة من البروتينات، لتشكيل الكروموسومات.

تحتوي النواة على معظم المادة الوراثية الموجودة في الخلية (أصبحت فيما بعد وظيفة النواة حامل للمعلومات الجينية) ، منتظمة على شكل جزيئات خطية طويلة من الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسجين DNA على شكل معقد بالإضافة إلى مجموعة كبيرة من البروتينات، مثل الهستونات، تُشكّل الكروموسومات أو الصبغيات. الجينات أو المورثات المحمولة على هذه الكروموسومات أو الصبغيات، تُشكّل معاً المجموع الوراثي أو الجينوم، وتأخذ هذه الجينات هذه البنية لتعزيز وظيفة الخلية. تحافظ النواة على وجود الجينات معاً وتحافظ على سلامتها، وتتحكم كذلك في أنشطة الخلية من خلال تنظيم التعبير الجيني، وبالتالي فإن النواة تُعتبر مركز التحكم في الخلية.

شكل النواة Shape of nucleus

شكل النواة غالباً يكون مرتبطاً بشكل الخلية و كقاعدة عامة فان معظم الأنوية تكون كروية أو بيضاوية الشكل و هذا لا يمنع تواجد النواة فى الأشكال الأخرى المستطيلة و العنقودية و العصوية و الهرمية و الكثرية و الكلوية الخ .

حجم النواة Volume of nucleus

غالباً ما يكون حجم النواة غير ثابت أو كثير التغير و بالرغم من ذلك توجد علاقة عامة بين حجم النواة و حجم سيتوبلازم الخلية و تعرف هذه العلاقة بالمعامل النووى السيتوبلازمى (س ن) و هذا يعنى أن المعامل النووى السيتوبلازمى ذو قيمة ثابتة أى أن الزيادة فى حجم النواة لا بد أن يتبعها زيادة فى حجم السيتوبلازم و عندما يحدث قصور فى الإحتفاظ بالقيمة الثابتة لهذا المعامل يكون مؤشراً لدخول الخلية فى عملية الإنقسام.

عدد الأنوية داخل الخلية Number of nucleus

الصورة الطبيعية للخلية إحتوائها على نواة واحدة و لكن ليست كل الخلايا تحمل العدد الطبيعى للأنوية فمنها من يحتوى على نواتين (الخلايا الكبدية liver cells و العصبية nerve cells و الغضروفية cartilage cells) و منها من يحتوى على المدمج

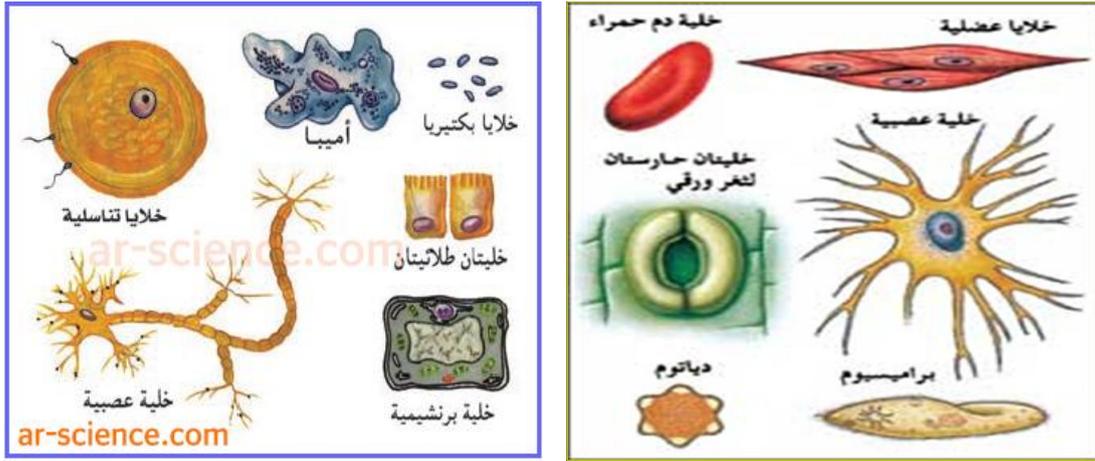
الخلوى أى أكثر من نواتين كما فى الخلايا العظمية bone cells التى توجد فى النخاع العظمى bone medulla و أيضا الألياف العضلية المخططة striated muscle fibers و منها ما لا يحتوى على نواة مثل كرات الدم الحمراء RBCs كاملة التكوين فى الانسان. تفتقد الخلايا عديمة النواة أى نواة، أى أنها غير قادرة على الانقسام، وبالتالي غير قادرة على توليد خلايا جديدة. إحدى أكثر الخلايا عديمة النواة المعروفة عند الثدييات هي خلايا الدم الحمراء، التى تفتقر أيضاً إلى ميتوكوندريا، حيث تقوم هذه الخلية بدور ناقل للأوكسجين من الرئتين إلى أنسجة الجسم.

موقع النواة (تركز النواة) Nucleus location

من الطبيعى عدم وجود النواة فى موقع واحد داخل الخلية و هذا يعزى لأختلاف أنواع الخلايا و لكنه مميز و ثابت فى النوع الواحد من الخلايا • و النواة داخل الخلية تمتلك عدد من المواقع ٠٠٠ فكر معى بعد أن تضع النواة فى وسط الخلية كما موقع غير هذا؟٠٠٠؟

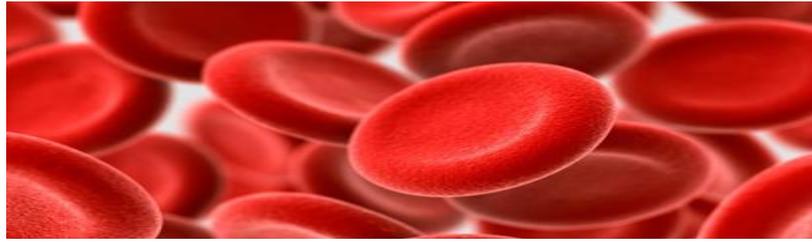
أشكال وأحجام الخلايا الحيوانية

يتراوح حجم معظم الخلايا الحيوانية بين ١٠ إلى ١٠٠ ميكرون. يختلف حجم وشكل الخلايا فى الأحياء كثيرا. ويصل الاختلاف إلى أعمله عندما نجد أن هناك الآلاف من أشكال وأنواع وأحجام الخلايا فى الكائن الواحد الناشئ أصلا من خلية واحدة. ويبدو أن هذا الاختلاف فى حجم وشكل الخلايا يعود لأسباب مهمة مثل العمر وموقع الخلايا وتطورها الجنيني، كذلك الوظيفة التى تعتبر ذات أهمية كبيرة فى تحديد الحجم والشكل.



اشكال الخلية الحيوانية شكل (١١)

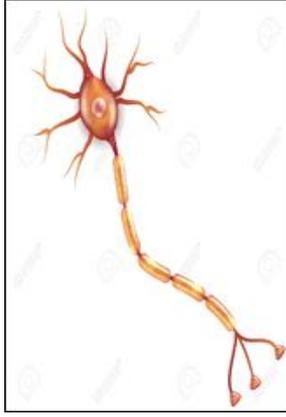
على سبيل المثال، كريات الدم الحمراء تتميز بشكلها القرصي الذي يساعدها في المرور عبر الأوعية الدموية الضيقة (شكل ٢).



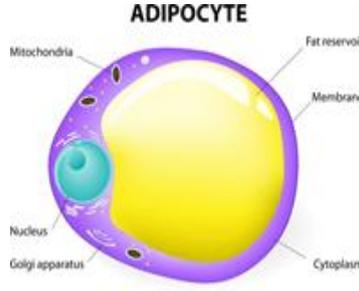
شكل (١١) شكل خلايا الدم الحمراء

تتميز الخلايا العصبية بسعة حجمها ووجود زوائد كثيرة بارزة من جسم الخلية إضافة إلى وجود نتوء بارز طويل يرتبط مع خلايا عصبية أخرى تقع بعيدا في موقع آخر وبذلك تستطيع نقل الآلاف من الرسائل العصبية من خلال زوائدها الشجيرية المرتبطة بالآلاف من محاور الخلايا العصبية الأخرى.

تعتبر الخلايا الدهنية والبويضات من أكبر الخلايا حجما ويعود ذلك لوجود الكثير من المواد الغذائية المخزنة في هذه الخلايا.



الخلية العصبية



الخلية الدهنية



الخلية البيضاء

شكل (١٢) احجام الخلية الحيوانية

وهكذا فإن الشكل المغزلي للعضلات الملساء والشكل الإسطواني للعضلات الهيكلية والقلبية والشكل المغزلي الذيلي للحيوانات المنوية والخلايا المهلبة في بطانة القصبة الهوائية والأمعاء وقنوات المبايض تخدم وظيفة هذه الخلايا، كذلك تتكيف الخلايا الأميبية وخلايا الدم البيضاء بأشكال متباينة لخدمة وظيفته.

دورة الخلية Cell cycle

دورة الخلية هي الأطوار المتتابعة من النمو والانقسام التي تحدث للخلية في الفترة الزمنية الواقعة بين انقسامين متتاليين و الانقسام التالي وتختلف مدة هذه الفترة من خلية إلى أخرى. تستمر دورة الخلية لمدة أقلها ١٢ ساعة، ولا تنتقل الخلية من المرحلة التمهيدي حتى تجهز المركبات الكيميائية التي تحتاجها للانقسام من أحماض أمينية وليبيدات وسكريات ولذلك يعتمد وقت وسرعة انقسام الخلية على كمية المواد الغذائية التي يتلقاها الجسم. تمر معظم الخلايا اثناء الانقسام بأربع مراحل وهي المرحلة التمهيدي تليها المرحلة الاستوائية ثم المرحلة الانفصالية وأخيرا المرحلة النهائية وهكذا تكون الخلية قد انقسمت وشكلت خليتين بنتين.

تتكون دورة الخلية من طورين متبادلين هما الطور البيني و طور الانقسام الخلوي

أولاً: الطور البيني Interphase

ويستغرق ٩٠% من زمن الدورة، ويتضمن ثلاث فترات هي

١- طور النمو الأول G1 phase: فيه يتضاعف عدد عضيات الخلية وانزيماتها وبالتالي يزداد حجم الخلية

٢- طور التركيب S phase يتضاعف الحمض النووي الريبوز منقوص الأكسجين

٣- طور النمو الثاني G2 phase: تنمو الخلية سريعاً تأهباً للانقسام

ثانياً: طور الانقسام الخلوي Cell division

يوجد نوعان من الانقسام الخلوي هما الانقسام غير المباشر والانقسام الاختزالي والذي ينتهي بتكوين خليتين، تدخل كل خلية منهما طوراً بينياً جديداً.

طور السكون G0

الطور G0 هو طور راحة، تغادر الخلية دورة الانقسام وتتوقف عن الانقسام. تبدأ الدورة الانقسامية الخلوية بهذا الطور. تستخدم عبارة «الطور ما بعد الانقسام الفتيلي» أحياناً للإشارة إلى كل من الخلايا الساكنة والخلايا الهرمة. تدخل الخلايا غير المتكاثرة (غير المنقسمة) في حقيقتات النوى عديدة الخلايا بشكل عام إلى الطور G0 الساكن من G1 وقد تبقى ساكنة لفترة زمنية طويلة أحياناً وربما إلى لا نهاية (كما هو الحال في كثير من الأحيان بالنسبة للأعصاب). هذا شائع جداً بالنسبة للخلايا المتميزة بشكل كامل. تحصل الشيخوخة الخلوية كاستجابة لتضرر الحمض النووي والإجهاد الخارجي وعادةً ما تسبب توقف في الطور G1. تدخل بعض الخلايا الطور G0 بشكل شبه دائم وتعتبر في طور ما بعد الانقسام الفتيلي مثل بعض خلايا الكبد والمعدة والكلية. العديد من الخلايا لا تدخل الطور G0 وتستمر بالانقسام طوال حياة الكائن الحي كالخلايا الجلدية على سبيل المثال.

الطور البيني Interphase

الطور البيني عبارة عن سلسلة من التغيرات التي تطرأ على الخلية المتشكلة حديثاً ونواتها قبل أن تصبح قادرة على الانقسام مرة أخرى. ويسمى أيضاً الطور التحضيري أو الطور بين مراحل الانقسام الفتيلي. يدوم الطور البيني عادةً لما لا يقل عن ٩٠%

من المدة الإجمالية لدورة حياة الخلية. يشتمل الطور البيئي على ثلاثة أطوار وهي G1 phase و S phase و G2 phase يليه دورة الانقسام الصبغي والانقسام السيتوبلازمي. تتضاعف محتويات نواة الخلية من الحمض النووي خلال الطور إس (طور التركيب).

طور النمو الأول G1 phase

يسمى الطور الأول خلال الطور البيئي من نهاية المرحلة M السابقة إلى بداية تركيب الحمض النووي G1 phase ويسمى أيضاً طور النمو. تُستأنف خلال هذه المرحلة الأنشطة الحيوية للخلية، التي تباطأت إلى حد كبير خلال الطور M، بمعدل مرتفع. تتفاوت مدة الطور G1 بشكل كبير، حتى بين الخلايا المختلفة من نفس النوع. تزيد الخلية في هذا الطور إمدادها من البروتينات وتزيد من عدد عضياتها (كالميتوكوندريا والريبوسومات) ويزداد حجمها. يوجد أمام الخلية في الطور G1 ثلاثة خيارات.

أ- متابعة الدورة الخلوية والدخول في طور التركيب.

ب- إيقاف الدورة الخلوية والدخول في الطور G0 والخضوع للتمايز.

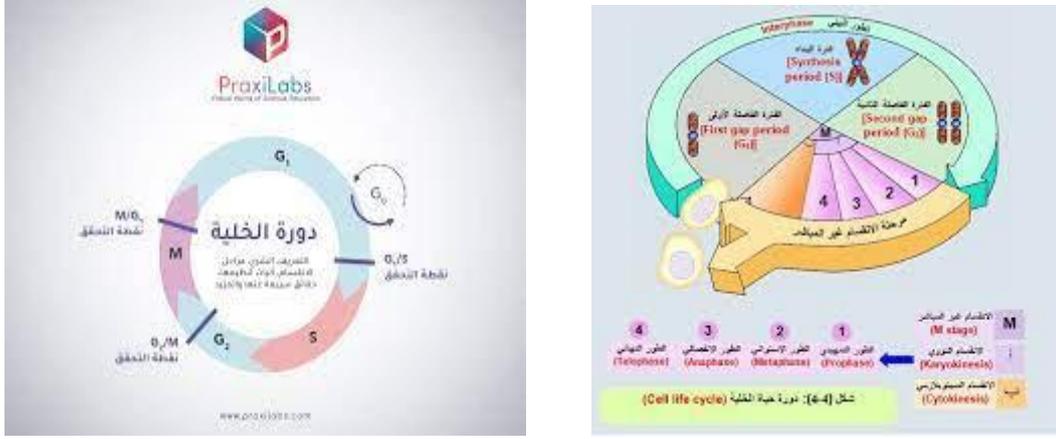
ج- التوقف في الطور G1 phase وبالتالي إما أن تدخل في الطور G0 أو تعيد الدخول في الانقسام الخلوي.

الطور S phase (طور تضاعف الحمض النووي)

يبدأ الطور S phase اللاحق عندما يبدأ تركيب الحمض النووي، عندما تكون كل الصبغيات قد انقسمت أي أن كل صبغي يتكون من زوج من الصبغيات. وهكذا وخلال هذا الطور فإن كمية الحمض النووي في الخلية تكون قد تضاعفت، على الرغم من أن الصبغة الصبغية وعدد الصبغيات لم يتغير. تكون معدلات نسخ الحمض النووي الريبوزي وتصنيع البروتين متدنية جداً خلال هذا الطور. الاستثناء الوحيد هو تصنيع الهيستون الذي يتم بمعظمه خلال هذا الطور.

الطور G2 phase (طور النمو)

يحصل الطور G2 phase بعد تضاعف الحمض النووي وهي مرحلة من تصنيع البروتين وتسارع في نمو الخلية لتحضير الخلية للانقسام الفتيلي. خلال هذا الطور تبدأ الأنيبوبات الميكروية بإعادة التنظيم لتشكل المغزل (مرحلة ما قبل الطور التمهيدي).



شكل (١٣) دورة الخلية

الانقسام الفتيلي Mitosis Division: هو مرحلة تفصل بها الخلية حقيقية النواة الصبغيات ضمن نواتها إلى مجموعتين متطابقتين ضمن نواتين. أثناء عملية الانقسام الفتيلي تتكثف الصبغيات وتتعلق على الأنيبوبات الميكروية التي تسحب الصبغيات الشقيقة إلى جانبي الخلية.

انقسام الخلية Cell division

لقد تأكد خلال القرن التاسع عشر أن الحياة تأتي من خلال حياة سابقة لها و أن الخلايا تأتي من خلايا سابقة لها و كل جيل من الخلايا أو الأفراد ينتج عن التكاثر و حيث أن الناتج يشبه الآباء. و لكي تتم هذه العملية لابد من تضاعف المادة الوراثية أو الصبغيات الوراثية اي لابد من وجود آلية تضمن زيادة الأحماض الامينية و نقل المعلومات الوراثية لذا لابد من عمل نسخ من المعلومات الوراثية لضمان حصول الناتج على هذه المعلومات لكي ينمو و يكون نتاج بدوره . و عندما تتضاعف المادة الوراثية في الآباء فإنها تنتقل للأبناء (الناتج) لكي تستمر الأجيال في الحياة و البقاء و أيضا عمليتي تضاعف المادة الوراثية و نقلها من الآباء إلى الأبناء لابد أن تتم بمنتهى الأمان

لكي يصبح النجاج مشابه للآباء لذا فإن التضاعف فى المادة الوراثية تحدث عندما يتضاعف الحمض النووى DNA و حيث اننا نعرف ان DNA الجديد ينسخ كما تحدثنا سالفا أن كثيرا من العلماء تمكنوا من مشاهدة إنقسام الخلية فى عام (١٨٤١) توصل ريماك الى إكتشاف إنقسام الخلية المباشر فى حين أن شنيدر فى نفس العام تمكن من إكتشاف الإنقسام الميتوزى Mitosis للخلية و لأول مرة فى عام (١٨٥٤) تمكن العالم نيوبورت من رؤية دخول الحيوان المنوى Sperm فى بويضة Ovum حيوان الضفدعة بينما أوضح هيروتيج (١٨٧٥) إندماج الحيوان المنوى بالبويضة و بهذه الخاصية إستطاع العلماء تفهم قوانين الوراثة، و يشتمل إنقسام الخلية على إنقسام النواه الذى يسبق إنقسام السيتوبلازم . و قد ميز العلماء نوعين أساسيين لإنقسام الخلية هما الإنقسام الميتوزى Mitosis و الإنقسام الميوزى Meiosis و هذا لا يمنع تواجد إنقسام آخر و هو الإنقسام المباشر Amitosis مبنى على أساس نوعية معينة من الخلايا و أيضا تحت ظروف خاصة و بالتالى يعتمد إنقسام الخلية على سلوك النواة Nucleus behavior .

أولا : الإنقسام الميتوزى Mitosis

الإنقسام الميتوزى و يعرف أيضا بالإنقسام غير المباشر هو إنقسام النواة مرة لتعطى نواتين و كذا تضاعف الكروموسومات أيضا مرة واحدة . الإنقسام الميتوزى هو الإنقسام العام الذى يتم بطريقة منتظمة فى جميع الحيوانات الحية و هو عملية ديناميكية مستمرة بإستمرار حياة الحيوان.

و للدراسة الطلابية يجب سهولة الوصف و لذا لا بد أن نعرف أن هذا الإنقسام يمر بأربعة مراحل مختلفة و هى : المرحلة التمهيديّة Prophase stage – المرحلة الإستوائية Metaphase stage – المرحلة الإنفصالية Anaphase stage – المرحلة النهائية Telophase stage.

أ- المرحلة التمهيديّة Prophase stage

تبنى هذه المرحلة على درجة ثبات Fixibility النواة و ما به من تراكيب و أهمها الكروموسومات Chromosomes فعندما تكون درجة الثبات صفر و هذا يعنى عدم ثبات النواة و هذا كله قاصر على الطور البيني Interphase stage و بعده تبدأ رحلة الدور التمهيدي للإنقسام بحيث نجد أن الكروموسومات أصبح لها قدر من الثبات حيث تظهر على هيئة خيوط رقيقة Fine thirds داخل النواة و تكون هذه الخيوط متشابكة و لدراسة ذلك تصبغ الخلية بصبغة تتعامل مع هذه الخيوط فتكسيها لونا أزرق خفيف من خلاله يمكن دراسة الكروموسوم تحت الميكروسكوب حيث يبدو على هيئة سلسلة طويلة من الجسيمات الصغيرة مختلفة الأحجام تعرف بالكروموميرات chromomeres و التى تتصل ببعضها بواسطة خيط رفيع أخف صباغة منها و الترتيب الطولى لهذه الكروموسومات يكون ثابت لكل كروموسوم و الكروموميرات المتجاورة يكون لديها ميل للتجمع مع بعضها البعض أثناء عملية التثبيت ، بعد هذه العملية و مع تقدم المرحلة التمهيديّة فإن الكروموسومات تقصر و تزداد فى السمك تدريجيا و بالتالى فإن المرحلة التمهيديّة تتم بفقدان الماء لزيادة درجة الثبات و النمو و الإنقباض أو التكتيف • و يبدو أن كل كروموسوم فى هذه المرحلة منشقا طوليا أى أن كل كروموسوم يتكون من نصفين طوليين كل منهما يعرف بالكروماتيدة chromatidia أو الكروموسوم الإبنة daughter chromosome و هذا يؤكد أن الكروموسومات تكون دائما مزدوجة منذ إبتداء المرحلة التمهيديّة و تكون الكروماتيدتان ملتصقتان بطول الكروموسوم و تحتويان على جسم وحيد غير قابل للإنقسام يعرف بالسنترومير Centromere أو القطعة الوسطية • و يجب ملاحظة أن الكروموسومات تتواجد دائما منفصلة و مستقلة •

و عند إنتهاء التحضيرات الأولية للمرحلة التمهيديّة تبدأ الخطوات الرئيسية للإنقسام وهى كالتالى:-

١- الحبيبة المركزية Centriole للجسم المركزى Cell center تنقسم الى حبيبتين إن لم تكن موجودة فى صورة حبيبتين •

٢- تبدأ كل حبيبة فى الهجرة تجاه أحد قطبى الخلية Cell poles (القطب الحيوانى Animal pole و القطب الخضرى Vegetable pole) •

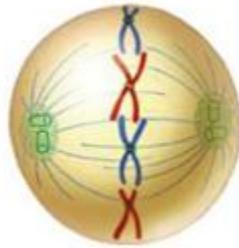
٣- مع إستمرار هجرة الحبيبتين تتحول الطبقة المعتمة Archoplasm للجسم المركزى الى أشعة نجمية astral rays تربط بين الحبيبتين •

٤- و عندما تقترب كل حبيبة من القطب المتجهه اليه تبدأ النوية و الغشاء النووى فى الإختفاء و يتبقى فقط من مكونات النواة السائل النووى و الكروموسومات (الخيوط الكروماتيدية) •

٥- و فى نهاية المرحلة التمهيدية تتحول الطبقة الشفافة للجسم المركزى الى خيوط المغزل Spindle thirds و التى معها تتوقف المرحلة التمهيدية و تبدأ المرحلة الإستوائية •

ب- المرحلة الإستوائية Metaphase stage

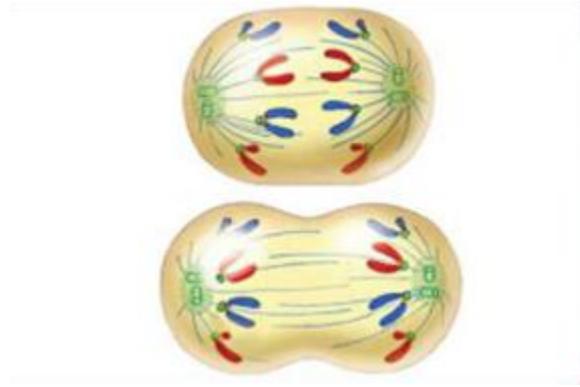
و تبدأ هذه المرحلة مع ظهور خيوط المغزل Spindle thirds مع ملاحظة أنه بالقرب من نهاية المرحلة التمهيدية أشرنا الى إختفاء الغشاء النووى و النوية و قلنا أن المتبقى من تركيب النواة هو السائل النووى و الخيوط الكروماتيدية (الكروموسومات) و مع ظهور خيوط المغزل تبدأ الكروموسومات فى التعلق بخيوط المغزل بواسطة السنتروميترات و المنطقة التى تتعلق بها الكروموسومات من خيوط المغزل تعرف بالصفحة الإستوائية Equatorial plate مع ملاحظة أن الكروموسومات فى هذه المرحلة تكون مزدوجة و مواجهه للصفحة الإستوائية •



شكل (١٤) الانقسام الميوزى

ج- المرحلة الانفصالية Anaphase stage

كما ذكرنا من قبل أن كل كروموسوم يتكون من خيطن من الكروماتيد يربط بينهما السنترومير أو القطعة الوسطية ، و مع بداية المرحلة الانفصالية ينشطر السنترومير الى جزئين بحيث يكون كل خيط كروماتيدي يحتوى على أحد جزئى السنترومير ثم ينفصل الخيطين عن بعضهما البعض و يتحرك كل منها تجاه أحد قطبي المغزل المقابل له ثم تحدث عملية نسخ Copy حيث ينسخ كل خيط كروماتيدي نفسه مكونا كروموسوما كاملا و بالتالى تحدث عملية تضاعف للكروموسومات.

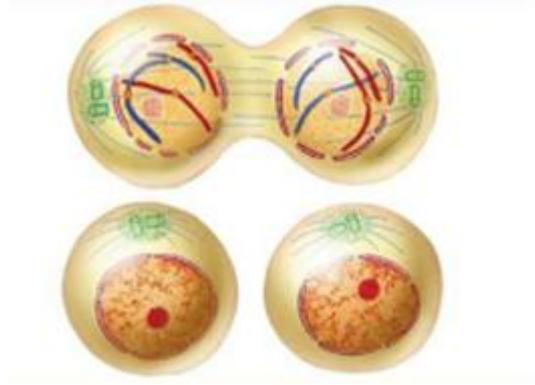


شكل (١٤) الانقسام الميتوزى

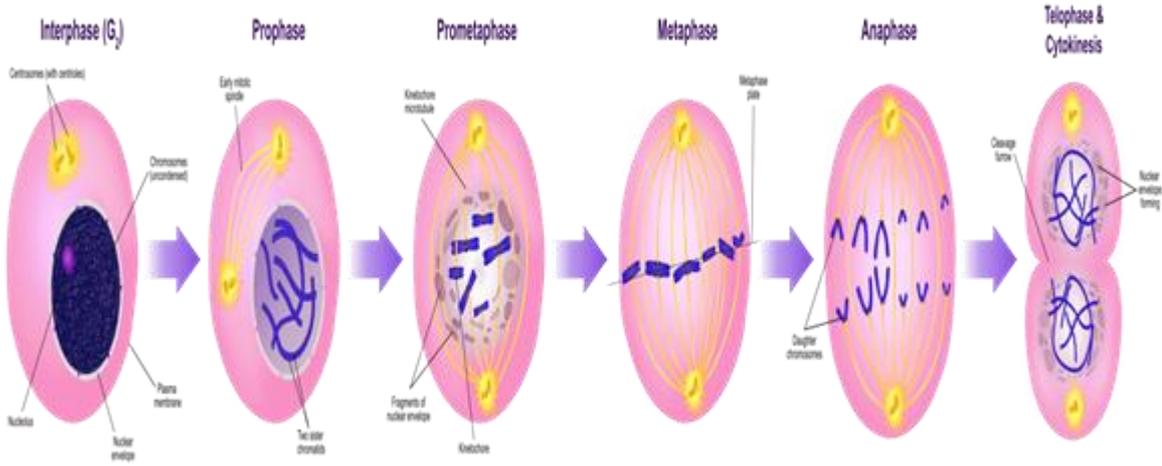
د- المرحلة النهائية Telophase stage

و فى هذه المرحلة تبدأ كل مجموعة من الكروموسومات موجودة عند أحد قطبي المغزل فى التجمع ثم تبدأ رحلة ظهور النوية و الغشاء النووى عند كل من قطبي المغزل و بالتالى تتكون نواتان ٠٠٠ كيف؟

و فى هذه الأثناء يظهر حز إختناق حول المنطقة الإستوائية للخلية و يستمر هذا الحز فى التقدم الى الداخل حت يقسم الخلية الى خليتين شقيقتين Daughter cells كل منهما نسخة طبق الأصل من الخلية الأصلية الأم و لا يكون الإختلاف الا فى الحجم فقط ٠ و تتراوح الفترة الزمنية التى يستغرقها الإنقسام الميتوزى بين عشرة دقائق الى عدة ساعات معتمدا على نوع الخلية – حالتها الوظيفية – العوامل الخارجية ٠



شكل (١٤) الانقسام الميوزي



شكل (١٤) الانقسام الميوزي

ثانياً: الإنقسام الميوزي (الإختزالي) Meiosis division (reduction division)

نعلم جميعاً أن جسم الكائن الحي الذي يحتوي على جهاز تناسلي يمتلك نوعين من الخلايا ، خلايا جسدية somatic cells تحتوي على العدد الزوجي (التضاعفي diploid) للكروموسومات (٢ن) و خلايا جنسية sex cells تحتوي على العدد الفردي (النصفى haploid) للكروموسومات (ن) مثال العدد الزوجي لكروموسومات الخلية الجسدية للإنسان ٤٦ بينما عدد الكروموسومات في الخلية الجنسية ٢٣ و هذا يؤكد عدم قدرة الخلية الجنسية منفردة على الإنقسام division و يرجع السبب الى إحتوائها على نصف عدد الكروموسومات فلا بد أن تتحد خلية جنسية ذكرية spermatocyte (حيوان منوي sperm) مع خلية جنسية أنثوية oocyte)

بويضة (ovum) لكي نحصل على خلية واحدة تحتوى على العدد التضاعفى (الزوجى) للكروموسومات و فى هذه الحالة تمتلك الخلية المقدرة على الإنقسام .

و الإنقسام الخلوى cell division الذى يختزل فيه عدد الكروموسومات الجسدية (2ن) الى النصف (ن) يعرف بالإنقسام الميوزى meiosis أو الإختزال الى reduction . و يمر الإنقسام الميوزى بإنقسامين متتاليين قد توجد بينهم فترة زمنية أو لا يكون و يتم أثناء هذين الإنقسامين أن تنقسم الكروموسومات مرة واحدة بينما النواة تنقسم مرتين ، و يطلق على هذين الإنقسامين الإنقسام الميوزى الأول first meiotic division و الإنقسام الميوزى الثانى second meiotic division و يفصل بينهما طور بينى قصير جدا و فى بعض الكائنات الحية الأخرى لا يوجد هذا الطور البينى interphase.

١ - الإنقسام الميوزى الأول First meiotic division

يمر هذا الإنقسام بأربعة مراحل أساسية :-

أ- المرحلة التمهيدية الأولى first prophase stage

و تتميز هذه المرحلة بطولها و تعقيداتها لذا نقسمها الى عدة اطوار حسب ترتيب حدوثها و هى

١- الطور القلادى Leptotene stage

و يبدأ هذا الطور بتحضير بسيط و هو محاولة ظهور الكروموسومات لصعوبة وضوحها ثم تبدأ سلسلة مظاهر لوضوح الكروموسوم حتى تبدو على هيئة خيوط طويلة و رفيعة تتساوى فى عددها مع الكروموسومات فى الخلية الجسمية و هذا اعطى انطباع للباحثين و العلماء بأن الكروموسومات لا تنقسم طوليا و ان الكروموسوم عبارة عن كروماتيدة واحدة . و قد تتواجد الكروموسومات اما بطريقة مرتبة (مستقطبة) او بطريقة غير مرتبة (غير مستقطبة) .

٢- الطور التزاوجى Zygotene stage

و فيه يتم ازدواج الكروموسومات المتشابهة او المتماثلة جنبا الى جنب و بذلط ترتب الكروموسومات فى ازواج و يختلف ترتيب الكروموسومات اثناء عملية الازدواج حسب ترتيبها فى الطور القلادى هل مستقطبة ام غير مستقطبة . فى حالة ان تكون مستقطبة تبدأ عملية الازدواج من السنترومير و غير ذلك يبدأ الازدواج من اى نقطة غير السنترومير. و الازدواج ايضا يتم بين الكروموسومات من الداخل و بعد ذلك نجد ان الكروموسومات تظهر غليظة و قصيرة و قد تحدث انقلابات اثناء عملية التزاوج مما يؤدي الى انعكاس جزء من الكروموسوم فاذا كانت دلالات الكروموسومات على الكروموسوم a,b,c,d,e,f و مثيلتها على الكروموسوم الاخر a',b',c',d',e',f' فانه يحدث ازدواج a مع a' و b مع b' فان كان هناك انقلاب فى احد هذين الكروموسومين المتماثلين و لم يحدث انقلاب فى مثيله الاخر نجد ان المنطقة النقلة ستبقى غير مزدوجة و تكون انثناء فى المنتصف. و يبدو ان عملية الازدواج تنتج من قوة تجاذب بين الكروموسومات المتماثلة و تكون قوة التجاذب نوعية و انها تقوم بدورها خلال مسافات محددة و هناك احتمال فى ان قوة التجاذب تتطابق مع القوة التى تحفظ الكروماتيديتين مع بعضهما البعض على طول امتداد الكروموسوم.

٣- الطور الضام Pachytene stage

عندما يحدث ازدواج للكروموسومات تصبح قصيرة و غليظة لذا يبدو عدد الكروموسومات ظاهريا مختزل للنصف اى ان الاختزال ظاهري فقط اى ان كل وحدة عبارة عن زوج من الكروموسومات pair of chromosome اى اربع خيوط كروماتيدية .

و يحدث فى منتصف هذا الطور انشطار طولى longitudinal division لكل كروموسوم فى مستوى عمودى على عملية الازدواج و يمكن تسمية الطور الضام بطور ذو شريطين two-bar قبل الانشطار و طور ذو الاربع اشربة tetra-bars بعد الانشطار و بعد عملية الانشطار يلتف كل شريطين حول الشريطين الاخرين و قد يحدث اثناء ذلك ان تتكسر الكروماتيدات الداخلية المتناظرة homologous

chromatids ثم يحدث تبادل بين القطع المتكسرة و تعرف هذه العملية بالعبور crossing over و لهذا فان الكروماتيدتين الخارجيتين تبقا كما هما.

٤- الطور الانفراجى Diplotene stage

يبدأ هذا الطور عندما تبدأ الكروموسومات المتماثلة فى عملية الانشطار و تبعد عن بعضها البعض و بالتالى تتحول قوى التجاذب الى قوى تنافر و انفصال الكروموسومات المتماثلة لا يكون انفصالا كلياً و لكن تبقى الكروموسومات متصلة مع بعضها البعض عن طريق نقاط الكيازماتا chiasmata و هى نقاط التبادل بين الكروماتيدات المتناظرة و هى بينية اى تتواجد بين نهايات الكروموسومات و ايضا تختزل تدريجياً و تتحرك خارجياً مكونه ما يسمى بالانزلاق الطرفى terminilization .

٥- الطور التشتى Diakinesis

و هذا الطور يقابل المرحلة المتاخرة التمهيدية للانقسام المباشر و يتميز هذا الطور بانكماش الكروموسومات و استمرارية عملية الانزلاق الطرفى حتى تتلاشى تماماً الكيازماتا و من ثم ينتقل الطور الانفراجى الى الطور التشتى .

ب- المرحلة الاستوائية الاولى First metaphase stage

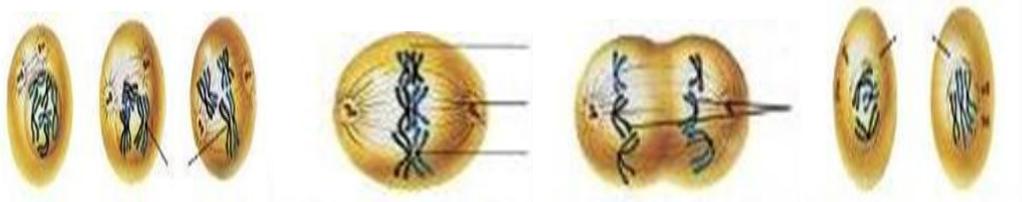
نجد أن الفترة بين اختفاء الغشاء النووى disappearing of nuclear membrane و بين اللحظة التى يتم فيها تكوين المغزل formation the spindle تكويننا كاملاً يطلق عليها المرحلة الاستوائية و هى تختلف عن المرحلة الاستوائية للانقسام الميتوزى فى ان كل ثنائى يحتوى على سنتروميرين bicentromeres مستقلين عن بعضهما البعض و لا تنقسمان كما فى الانقسام الميتوزى. و تقع السنتروميرات اعلى او اسفل الخط الاستوائى بينما فى الانقسام الميتوزى نجد ان جميع السنتروميرات تقع على الخط الاستوائى لأن كل كروموسوم يحتوى على سنترومير واحد .

ج- المرحلة الانفصالية الاولى First anaphase stage

نتيجة لتحول قوى التجاذب الى قوى تنافر فإن كل سنترومير فى اتجاه القطب الاقرب و يجر خلفه الكروموسوم المتصل به و فى المرحلة الانفصالية المتأخرة تستطيل المنطقة الوسطية للمغزل و يتم انفصال كل ثنائى الى وحدتين الى كروموسومين.

د- المرحلة النهائية الاولى First telophase stage

و فيها تبدأ الكروموسومات القريبة من كل قطب من قطبي الخلية التحرك تجاه هذا القطب معها تبدأ المرحلة النهائية الاولى و هذا مطابق لما يحدث فى المرحلة الانفصالية للانقسام الميوزى ما عدا ان كل مجموعة كروموسومية تكون احادية السنترومير و قد تبقى الكروموسومات فى صورة مجتمعة او مكثفة و بالتالى نجد ان الكروماتيدات الشقيقة تنفرج عن بعضها البعض و ينتج عن الانقسام الاختزالي الاول تكوين امهات البيض الثانوية فى الانثى و امهات المنى الثانوية فى الذكر.



الطور الانفصالى

الطور الاستوائى

الطور التمهيدي
الطور النهائى

شكل (١٥) الانقسام الميوزى الاول

٢- الانقسام الميوزى الثانى Second meiotic division

و هو يمر بنفس المراحل الاساسية الاربعة للانقسام الميوزى و ايضا الانقسام الميوزى الاول وهى :-

أ- المرحلة التمهيديّة الثانية Second prophase stage

كما ذكرنا فى المرحلة التمهيديّة الانقسام الميوزى الاول و هى بداية وضوح الكروموسومات فى هذه المرحلة يبدأ دور الجسم المركزى فى عملية الانقسام و فيها تنقسم كل حبيبة مركزية Centriole اذا كانت واحدة او تنفصل عن بعضها البعض

إذا كانت حبيبتين يتحرك كل منها الى احد قطبي الخلية ثم يبدأ الغشاء النووي في الاختفاء و معه يبدأ المغزل في الظهور .

ب- المرحلة الاستوائية الثانية Second metaphase stage

و فيها يتم ترتيب الكروموسومات على خيوط المغزل بعد تكوينها و ظهورها في نهاية المرحلة التمهيديّة و المنطقة التي تشغلها الكروموسومات على خيوط المغزل تسمى الصفيحة الاستوائية و كل كروموسوم من هذه الكروموسومات يتكون من زوج من الكروماتيدات تتصلان ببعضهما عن طريق القطعة الوسطية او السنتروميير.

ج- المرحلة الانفصالية الثانية Second anaphase stage

يحدث انشطار طولى او انقسام طولى لكل كروموسوم و يشمل الانقسام السنتروميير و ينتج عن ذلك ان كل كروموسوم اصبح عبارة عن زوج من الكروماتيدات المنفصلة و التي كل منها تحتوى على جزء من السنتروميير ثم تتحرك كل كروماتيدة تجاه القطب القريب منها ثم تبدأ كل كروماتيدة في نسخ نفسها و بالتالى تكون كروموسوم كامل و فى هذه المرحلة تحدث عملية تضاعف الصبغيات الوراثية او الكروموسومات.

د- المرحلة النهائية الثانية Second telophase stage

فى هذه المرحلة تتجمع الكروموسومات بالقرب من القطب المقابل ثم تبدأ المكونات التي إختفت فى الظهور مرة اخرى فتظهر الانوية، نواه لكل مجموعة من الكروموسومات و ايضا غشاء نووى و نوية و السائل النووى و يبدأ الغشاء النووى فى الاحاطة بالكروموسومات و النواة و النوية و العصير النووى و بالتالى تتكون نواة و لكن تحتوى على عدد فردى من الكروموسومات اى العدد النصفى للكروموسومات و تعرف الخلية الناتجة بالحيوان المنوى او البويضة.



الطور الانفصالي

الطور الاستوائي

الطور التمهيدي



الطور النهائي

شكل (١٦) الانقسام الميوزي الثاني

مقارنة بين الانقسام غير المباشر والانقسام الإختزالي

هناك فروق أساسية بين الانقسام غير المباشر والانقسام الإختزالي ، نذكر بعضها فيما يلي:

١- يحدث الانقسام غير المباشر في جميع الخلايا الجسمية للفرد ، أما الانقسام الإختزالي فهو قاصر على الخلايا الجنسية .

٢- في الانقسام غير المباشر ، يلاحظ أن كل دورة تضاعف لحمض DNA يليها إنقسام خلوي واحد ، والخلايا البنوية الناتجة لها العدد الضعفي من الكروموسومات وكمية حمض DNA الأصلية نفسها في الخلية الأم ، أما في الانقسام الإختزالي فإن كل دورة تضاعف لحمض DNA يليها إنقسامين خلويين ، وتحتوي كل خلية من الخلايا الأربع الناتجة نصف عدد الكروموسومات ، ونصف كمية حمض DNA الأصلية في الخلية الأم.

٣- في الانقسام غير المباشر ، يحدث تضاعف حمض DNA في الفترة S التي تليها الفترة (G2) ، وفي الانقسام الإختزالي يلاحظ أن تضاعف DNA قبيل الانقسام الخلوي يتم خلال فترة أطول من تلك الخاصة بالانقسام غير المباشر ، كما أن هذا

التضاعف يتلوه مباشر حدوث الإنقسام الإختزالي ، بمعنى أن الفترة (G2) تكون قصيرة جدا أو غير موجودة.

٤- في الإنقسام غير المباشر يتصرف كل كروموسوم منفردا ، بينما في الإنقسام الإختزالي نجد أن الكروموسومات المتشابهة لها علاقة حركية بين بعضها البعض خلال الإنقسام الإختزالي الأول ، حيث تكون ما يعرف بإسم "ثنائيات".

٥- يحدث الإنقسام غير المباشر في فترة قصيرة نسبيا (ساعة أو ساعتين) ، بينما يتم الإنقسام الإختزالي في فترة طويلة.

موت الخلية المبرمج (programmed cell death)

هو موت الخلية بأي شكل من الأشكال، بواسطة برنامج داخل الخلايا، ويشار إليه أيضًا باسم الانتحار الخلوي. يحدث موت الخلية المبرمج ضمن عملية بيولوجية، والتي عادةً ما تكون مفيدة خلال دورة حياة الكائن الحي. على سبيل المثال، يحدث تمايز أصابع اليدين والقدمين لدى الجنين البشري النامي نتيجة موت الخلايا بين أصابع اليدين. والنتيجة هي انفصال الأصابع. يدعم موت الخلية المبرمج الوظائف الأساسية خلال نمو الأنسجة النباتية والحيوانية. يعد كل من الاستماتة والالتهام الذاتي شكلاً من أشكال موت الخلية المبرمج، أما النخر، فيعتبر عملية غير فسيولوجية تحدث نتيجة للعدوى أو الإصابة.

النخر هو موت الخلية الناجم عن عوامل خارجية مثل الصدمة أو العدوى ويحدث بأشكال مختلفة. في الآونة الأخيرة، عُرف شكل من أشكال النخر المبرمج، يسمى نكروبتوسيس، كشكل بديل لموت الخلايا المبرمج. تقول النظريات أن نخر الخلايا هو بمثابة داعم لعملية الاستماتة عندما تُحجب إشارة موت الخلايا المبرمج بواسطة عوامل داخلية أو خارجية مثل الفيروسات أو الطفريات. في الآونة الأخيرة، اكتُشفت أنواع أخرى من النخر الخاضع للتنظيم أيضاً، والتي تشترك من حيث التأثير مع النكروبتوسيس والاستماتة.

الاستموات أو النوع الأول للموت الخلوي المبرمج

الالتهام الذاتي أو النوع الثاني للموت الخلوي المبرمج: يتميز بتكوين فجوات كبيرة داخل السيتوبلازم تآكل العضيات الخلوية ضمن تسلسل محدد قبل تدمير النواة.

الاستموات

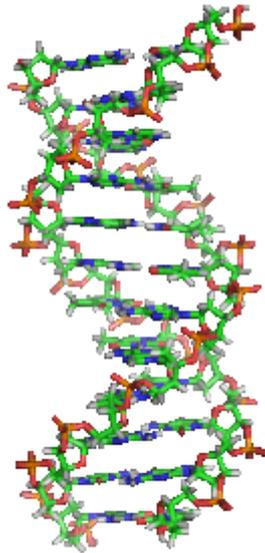
الاستموات هو عملية موت الخلايا المبرمج التي قد تحدث في الكائنات متعددة لخلايا. تؤدي الأحداث الكيميائية الحيوية إلى تغييرات مميزة في الخلايا (مورفولوجيا). تتضمن هذه التغييرات تشكل فقاعات، انكماش الخلايا، تفكك نووي، تكثف الكروماتين، تفكك الدنا الصبغي. يُعتقد الآن أنه- في سياق تنموي- تُحث الخلايا على الانتحار بشكل إيجابي ضمن سياق استنبابي. قد يوفر غياب عوامل بقاء معينة قوة دافعة للانتحار. يبدو أن هناك بعض الاختلاف في المورفولوجيا وفي مجال الكيمياء الحيوية لهذه المسارات الانتحارية؛ تلجأ بعض الخلايا لطريق «الاستموات»، بينما يتبع بعضها الآخر طريقاً أكثر عمومية للحذف، لكن عادةً ما يكون الدافع وراثياً وصنعياً. توجد بعض الأدلة على أن بعض أعراض «الاستموات» مثل تنشيط النوكليز الداخلي يمكن أن تحدث بشكل زائف دون إشراك تنظيم جيني، ومع ذلك، يجب أن يكون الاستموات والموت المبرمج للخلايا الحقيقي متواسط جينياً. أصبح من الواضح أيضاً أن الانقسام الخلوي أو الاستموات يتبدلان أو يرتبطان بطريقة أو بأخرى وأن التوازن المحقق يعتمد على الإشارات التي ترسلها عوامل النمو أو البقاء المناسبة.

الالتهام الذاتي

البلعمة الكبيرة، وغالباً ما يشار إليها باسم الالتهام الذاتي، هي عملية تقويضية تؤدي إلى الالتهام الذاتي الليوزومي لمحتويات السيتوبلازم الضخمة، التجمعات البروتينية الشاذة، والعضيات الزائدة أو التالفة. تنتشط عملية الالتهام الذاتي بشكل عام بحالات نقص التغذية، لكنها ترتبط أيضاً بالعمليات الفسيولوجية والمرضية مثل النمو والتمايز وأمراض التنكس العصبي والإجهاد والعدوى والسرطان.

البيولوجية الجزيئية

Molecular Biology



وصف المقرر

- ١- يتناول المقرر دراسة الحمض النووي الريبوزي منقوص الاكسجين والحمض النووي الريبوزي، من حيث التركيب، والوظيفة وتفاعلاتها مع البروتينات.
- ٢- يشتمل المقرر علي دراسة تضاعف الحمض النووي، وآليات إصلاح الحمض النووي، والنسخ، وبناء البروتينات، وتنظيم التعبير الجيني.
- ٣- يتناول آليات تنظيم التعبير الجيني، وبناء البروتينات، والتفاعلات علي مستوى البروتينات، ترجمة الحمض النووي الريبوزي، والتحكم في استقراره.
- ٤- كذلك تشمل آليات التعديل الخاص بالحمض النووي الريبوزي ، وعمليات ما بعد النسخ التي تشمل دراسة تركيب ووظيفة الجينات، وإعادة تشكيل الكروموسوم، وذلك من خلال المواضيع التالية. ما هي الاحياء الجزيئية، مفهوم الجينوم وتنظيمه، التعبئة والتغليف من الحمض النووي، الكروماتين، هيكل الكروموسومات، جينوم الميتوكوندريا، تضاعف المادة الوراثية ، ضرر المادة الوراثية وإصلاح التركيب، آلية النسخ في بدائيات النواة، النسخ في حقيقيات النواة، الترجمة ونتاج البروتين، تنظيم انتاج البروتين، علم الجينوم و البروتينات، تقنيات في الاحياء الجزيئية.

أهداف و المخرجات

الأهداف

- ١- يهدف هذا المقرر لتدريس عملية التصنيع الحيوي في الكائنات الحية بمراحلها المختلفة من حيث التعرف علي تركيب الاحماض النووية من حيث التركيب والوظيفة التركيب الكيميائي ووظائف الاحماض النووية وطريقة نسخها وتفاعلها مع البروتينات لتكوين الكروموسومات.
- ٢- فهم نسخ DNA والاطاء التي قد تحدث اثناء هذه العملية وكيفية اصلاحها في الخلايا الحية.

٣- معرفة ميكانيكية التحكم في نسخ RNA و معرفة انواع RNA وكيفية انتقاله واستقراره.

٤- تحديد التغيرات التي تطرأ على RNA , ترجمة البروتينات والتعرف على ميكانيكية التعبير الجيني والتنظيم الجيني.

المخرجات

عند الانتهاء من دراسة هذا المقرر سوف يكون الطالب والطالبة قادرة على

١- عملية التصنيع الحيوي في الكائنات الحية بمراحلها المختلفة ومكوناتها.

٢- التغيرات المصاحبة لنسخ RNA العوامل المؤثرة في نسخ RNA

٣- التنظيم الجيني و العوامل المؤثرة في التعبير الجيني.

٤- الشفرة الوراثية وترجمة البروتينات والبروتينات المثبطة والبروتينات المنظمة.

٥- أنواع الجينات واختلاف وظائفها و التعديل الجيني.

٦- تقنيات البيولوجية الجزيئية.

البيولوجيا الجزيئية Molecular biology

يقوم علم الأحياء الجزيئي أو البيولوجيا الجزيئية Molecular biology بدراسة الأحياء على المستوى الجزيئي، لذلك فهو يتداخل مع كلا من علم الأحياء الدقيقة والكيمياء في عدة فروع ويتقاطع مع الكيمياء الحيوية وعلم الوراثة في عدة مناطق وتخصصات. تهتم البيولوجيا الجزيئية بدراسة مختلف العلاقات المتبادلة بين كافة الأنظمة الخلوية وبخاصة العلاقات بين الحمض النووي دي اكسي ريبوز DNA (حمض نووي ريبوزي منقوص الأكسجين) والحمض النووي الريبوزي (RNA) وعملية الاصطناع البروتيني إضافة إلى آليات تنظيم هذه العملية وكافة العمليات الحيوية. علم البيولوجيا الجزيئية يختص بدراسة الأسس الجزيئية من عملية النسخ والاستنساخ والترجمة الجينية. المفهوم الحقيقي لعلم الأحياء الجزيئي أن مادّة وراثية نُسخت حمض نووي ريبوزي منقوص الأكسجين وبعد ذلك ترجمت إلى البروتين.

وتُعتبر البيولوجيا الجزيئية فرعًا متخصصًا من الكيمياء الحيوية، وهي دراسة كيمياء الجزيئات المرتبطة بشكل خاص بالعمليات الحيوية، وتهتم البيولوجيا الجزيئية بشكل نوعي بكل من الحمضين النوويين الريبوزيين، منزوع الأوكسجين وغير المنزوع الـ DNA و RNA والبروتينات التي تُبنى باستخدام تعليمات وراثية مرمزة في تلك الجزيئات، كما يمكن دراسة جزيئات حيوية أخرى، مثل الكربوهيدرات والدهون، في هذا المجال لتحري تداخلاتها مع الاحماض النووية والبروتينات.

و غالبًا ما تُفصل البيولوجيا الجزيئية عن مجال بيولوجيا الخلية أو علم الأحياء الخلوي، والذي يركز على البنى الخلوية أي العضيات الخلوية وما شابهها، والمسارات الجزيئية ضمن الخلية ودورات حياة الخلايا.

تزوّد البيولوجيا الجزيئية العلماء بمجموعة أدوات يمكنهم من خلالها الانشغال بالتجريب في الطرق التي تعمل بها الحياة، فيستطيعون أن يستخدموها لتحديد وظيفة مورثات أو بروتينات مفردة، واكتشاف ما قد يحصل إذا غابت إحداها أو عُطبت، كما تُستخدم البيولوجيا الجزيئية لتحري توقيت تفعيل بعض المورثات وإلغاء عملها والسبب

وراء ذلك، وقد أدى استيعاب كل من العوامل المذكورة إلى فهم العلماء لآلية عمل الكائنات الحية بشكل أكبر، واستخدام هذه المعرفة لتطوير علاجات عند قصور هذه الآلية.

نشأ مجال علم الوراثة كمحاولة لفهم الآليات الجزيئية للوراثة الجينية وبنية الجين. كان جريجور مندل رائدًا في هذا العمل في عام ١٨٦٦، عندما كتب لأول مرة قوانين الوراثة الجينية بناءً على دراساته حول تزاوج الهجن في نباتات البازلاء. أحد قوانين الوراثة الجينية هو قانون الفصل، الذي ينص على أن الأفراد ثنائيي الصيغة الصبغية الذين لديهم أليلين لجين معين سوف يمررون أحد هذه الأليلات إلى ذريتهم. بسبب عمله النقدي، يشار عادة إلى دراسة الوراثة الجينية باسم علم الوراثة المنديلية. كان اكتشاف بنية الحمض النووي أحد المعالم الرئيسية في علم الأحياء الجزيئي. بدأ هذا العمل في عام ١٨٦٩ على يد ميشر، الذي كان أول من اقترح بنية تسمى النيوكلين، والتي نعرفها الآن باسم (الحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين)، أو الحمض النووي. ليفين، الذي اقترح "نموذج متعدد النوكليوتيدات" للحمض النووي في عام ١٩١٩، وفي عام ١٩٥٠ أيضًا، أوضح شارجاف بعض الخصائص المهمة للأحماض النووية: أولاً، يختلف تسلسل الأحماض النووية عبر الأنواع. ثانيًا، التركيز الإجمالي للبيورينات (الأدينين والجوانين) يساوي دائمًا التركيز الإجمالي للبيريميدين (السيستين والثايمين). يُعرف هذا الآن باسم قاعدة Chargaff.

الباحثون في الأحياء الجزيئية استخدموا تقنيات محددة منشؤها علم الأحياء الجزيئي، ولكن مع تزايد الجمع بين هذه الأفكار من تقنيات وعلم الوراثة وعلم الكيمياء الحيوية والفيزياء الحيوية مع أنه ليس هناك ترابط بين هذه المجالات كما كان من قبل. الشكل التالي يمثل مخطط علاقه بين بعض تلك المجالات

١-الكيمياء الحيوية: هي دراسة المواد الكيميائية والعمليات الحيوية اللذان يحدثان في الكائنات الحيّة.

٢-علم الوراثة: هو دراسة تأثير الاختلافات الوراثية على الكائنات الحية.

٣-دراسة الكائنات التي تفتقر الي واحد أو أكثر من العناصر الفنية فيما يتعلق بما يسمى نمط ظاهري طبيعي. التفاعلات الوراثية مثل "epistasis" يمكن أن تفند تفسيرات بسيطة في أغلب الأحيان مثل هذه الدراسات.

تقنيات الأحياء الجزيئية

منذ أواخر خمسينات وأوائل الستينات، تعلم علماء الأحياء الجزيئي كيفية تمييز وعزل ومعالجة المكونات الجزيئية للخلايا والكائنات الحية. تتضمن هذه المكونات الدنا (DNA) مستودع المعلومات الوراثية؛ الرنا (RNA) الشبيه بالدي إن أي. الذي تتراوح وظائفها من العمل كالنسخة العاملة المؤقتة ل (DNA) دنا إلى هيكلية فعلية ومهام انزيمية كذلك الوظيفة والهيكلية من أجهزة النقل. والبروتين هو الهيكل الرئيسي والنوع الانزيمي للجزيئات في الخلية تقنية الاستنساخ الجزيئي تتضمن استنساخ الجين المرمر للبروتين ضمن بلاسميد (ناقل)، يجب أن يحتوي البلاسميد على ثلاثة عناصر أساسية وهي: أصل التضاعف، موقع لاستنساخ المتعدد، وواسم انتقائي غالبا ما يكون جينا مرمرًا لمقاومة أحد الصادات الحيوية. قبل موقع الاستنساخ المتعدد يتوضع كل من منطقة المحفز بالإضافة إلى موقع بدء الانتساخ والذين ينظمان التعبير عن الجين المستنسخ. بحسب البلاسميد المستخدم من الممكن ادخاله فيما بعد إلى نظام ترجمة إما بدائي النوى كالبكتريا أو حقيقي النوى كخلايا الثدييات أو الحشرات.

تقنيات بيولوجية جزيئية شائعة

تغطي القائمة التالية بعضًا من أكثر تقنيات البيولوجيا الجزيئية المستخدمة شيوعًا، يبدو أنها ليست شاملة:

١- الترحيل الكهربائي Electrophoresis هو تقنية تفصل الجزيئات حسب حجمها باستخدام هلام الاغاروز أو بولي أكريلاميد. هذه التقنية هي واحدة من الأدوات الرئيسية للبيولوجيا الجزيئية. المبدأ الأساسي هو أنه يمكن فصل أجزاء الحمض النووي عن طريق تطبيق تيار كهربائي عبر الهلام - لأن العمود الفقري للحمض النووي

يحتوي على مجموعات فوسفات سالبة الشحنة، فإن الحمض النووي سوف يهاجر عبر هلام الاغاروز نحو النهاية الايجابية للتيار. يمكن أيضاً فصل البروتينات على أساس الحجم باستخدام هلام SDS-PAGE، أو على أساس الحجم وشحنتها الكهربائية باستخدام ما يعرف بالرحلان الكهربائي للهلام ثنائي الأبعاد

٢- تفاعل البوليميراز المتسلسل – (PCR) هي عملية تُستخدم لتضخيم عينات صغيرة جداً من الـ (DNA) لكميات يمكن استخدامها في تجارب لاحقة، وتُعتبر أداة أساسية في البيولوجيا الجزيئية للتأكد من وجود كمية كافية من الـ (DNA) لإنجاز تقنيات لاحقة، كالتعديل الجيني، بالإضافة إلى امتلاكها استخدامات عملية أوسع كما في الطب الشرعي (تحديد الهوية بواسطة مرتسم الـ DNA وتشخيص الأمراض، كما يمكن توظيف تفاعل البوليميراز المتسلسل لإدخال طفرات نقطية صغيرة لمورثة ما من خلال عملية تُدعى التطهير الموجه للموقع. (site-directed mutagenesis)

٣- الفصل الجزيئي -عملية اقتطاع الـ (DNA) لأجزاء صغيرة باستخدام إنزيمات فعالة على توالى جيني محدد فقط.

٤- الربط – عملية وصل قطعتي (DNA) مع بعضهما، وتُعتبر مفيدة عند إضافة قطعة جديدة من هذا الحمض النووي لجينوم آخر.

٥- التكويد – تقنية تُستخدم لتحديد الجزيئات الحيوية بشكل نوعي تلو الرحلان الكهربائي، ويُشار للجزيء المرغوب إما بمسبار موسوم (طاق ممتص من الحمض النووي) ، أو ضدّ موسوم مُصطنع لبروتين معيّن.

٦- الإدخال – تقنية إدخال مورثة جديدة لخلية ، ويمكن استخدامها لدراسة تأثير تعبير تلك المورثة على الخلية، وذلك لتحويل الأخيرة لمعمل يُنتج كميات كبيرة من البروتين الذي تُرمز له المورثة، أو (مع استخدام مادة واسمة) تحديد مكان التعبير عن منتجات تلك المورثة في الخلية.

وتُستخدم كل من التقنيات السابقة بالتزامن مع تقنيات أخرى لمساعدة العلماء على حل سؤال بحثي معين، فعلى سبيل المثال، بعد استخدام الـ (PCR) لإنتاج كميات كبيرة من مورثة معينة، يمكن للعلماء أن يربطوا الجين المرمرز لبروتين معين داخل ناقل بلاسميدي وأن يُنجزوا فصلا سريعًا وترحيلًا كهربائيًا للتأكد من أن المورثة قد أُدخلت بالشكل الصحيح.

الدلالة أو الاتجاه Sense :

في علم الأحياء الجزيئي وعلم الوراثة هو مفهوم يُشار به إلى طبيعة دور سلسلة حمض نووي DNA أو RNA والسلسلة المكملة لها في تحديد تسلسل الأحماض الأمينية، وبعبارة أخرى تشير الدلالة إلى ما إذا كان من الممكن لتسلسل سلسلة حمض نووي أن يدل على تسلسل الأحماض الأمينية المخلفة منه، فإذا كان بالإمكان الاستدلال فإن السلسلة (+) أو موجبة الدلالة، وإن كان الاستدلال غير ممكن فهي سلسلة (-) أو سالبة الدلالة وتكون السلسلة المكملة لها سلسلة موجبة الدلالة. الدلالة مفهوم نسبي في جزيئات الحمض النووي مزدوجة السلسلة فعلى سبيل المثال: سلسلة DNA سالبة الدلالة هي نفسها سلسلة القالب، أما السلسلة الثانية المكملة فهي السلسلة موجبة الدلالة وهي كذلك سلسلة اللاقالب وتسلسلها يكون مطابقا لتسلسل RNA الرسول الناتج من نسخ السلسلة القالب.

في علم الفيروسات، يملك مصطلح «الدلالة» معنى مختلفا قليلا. يمكن أن يُقال بأن جينوم فيروس RNA موجب الدلالة ويُعرف كذلك بـ«السلسلة الموجبة» أو يُقال سالب الدلالة ويُعرف كذلك بـ«السلسلة السالبة». في معظم الحالات يُستخدم مصطلحي «دلالة» و«سلسلة» بشكل مترادف وهو ما يجعل مصطلح «موجب السلسلة» مرادف لـ«موجب الدلالة» ومصطلح «سالب السلسلة» مرادف لـ«سالب الدلالة». كونُ الجينوم الفيروسي موجب الدلالة أو سالب الدلالة هو أساس يُستخدم في تصنيف الفيروسات.

موجب الدلالة

RNA الفيروسي موجب الدلالة 5' إلى 3' يعني أن تسلسل جزيء RNA الفيروسي يمكن أن يُترجم مباشرة إلى بروتينات فيروسية (مثل تلك المطلوبة من أجل تضاعف الفيروس). لذلك، في فيروسات RNA موجبة الدلالة يمكن اعتبار جينوم الرنا الفيروسي بأنه RNA رسول فيروسي ويمكن ترجمته مباشرة بواسطة الخلية المضيفة. على خلاف RNA سالب الدلالة، تسلسل الرنا موجب الدلالة مطابق ومماثل لتسلسل RNA الرسول الذي يُحدد أو يدل على تسلسل الأحماض الأمينية في البروتينات الناتجة. تملك بعض الفيروسات مثل فيروسات كورونا (جينومات موجبة الدلالة) يمكنها التصرف كـ RNA رسول وأن تُستخدم مباشرة لتخليق بروتينات من دون مساعدة لسلسلة RNA مكمل ووسيلة. بسبب هذه الميزة لا تحتاج هذه الفيروسات إلى تعبئة وإضافة بوليميراز RNA المعتمد على RNA أثناء تجميع الفيروس لأنه سيكون أول البروتينات التي سيتم تخليقها بواسطة الخلية المضيفة وذلك لأنه مطلوب من أجل تضاعف جينوم الفيروس.

سالب الدلالة

RNA الفيروسي سالب الدلالة (3' إلى 5') يعني أن تسلسل جزيء RNA الفيروسي لا يُترجم مباشرة إلى بروتينات فيروسية، ويمكن اعتبار الجينوم الفيروسي بأنه السلسلة القالب التي يتم منها إنتاج RNA رسول تسلسله مكمل لتسلسل الفيروس سالب الدلالة، لذلك يجب إنتاج رنا موجب الدلالة أولاً بواسطة بوليميراز RNA المعتمد على RNA قبل أن تتم الترجمة وإنتاج البروتينات. يملك RNA سالب الدلالة تسلسلاً لا يدل على تسلسل الأحماض الأمينية في البروتينات الناتجة ويتطلب سلسلة مكمل ووسيلة تعمل RNA رسول. تملك بعض الفيروسات مثل فيروسات الإنفلونزا (جينومات سالبة الدلالة) ويجب عليها أن تحمل معها بوليميراز RNA داخل الفيروس لكي تستطيع القيام بالتضاعف.

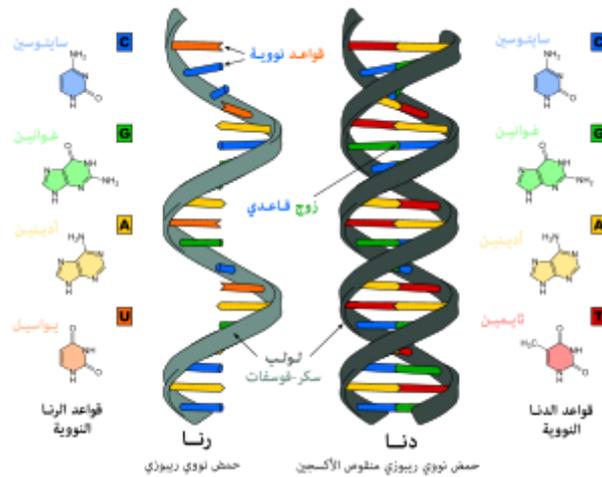
الأحماض النووية

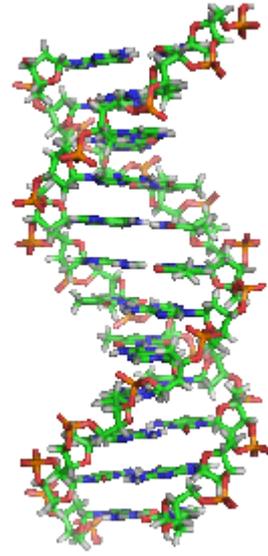
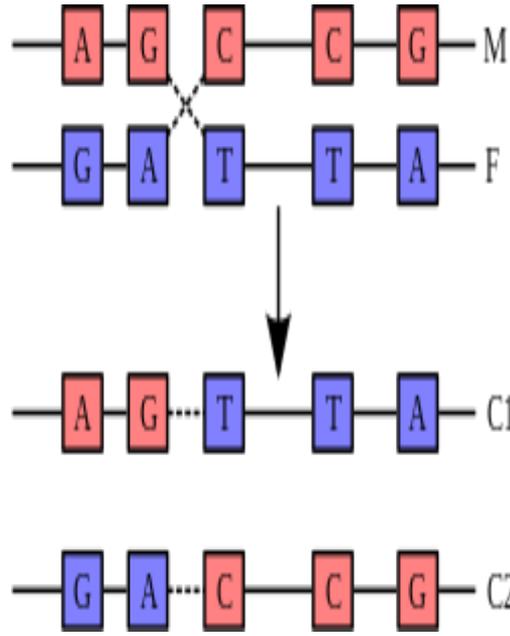
الأحماض النووية هي سلاسل طويلة من النيوكليوتيدات مرتبطة معا بروابط ثنائي استر الفسفور. هناك نوعان من الأحماض النووية: الحمض النووي الريبوز منقوص الأكسجين والحمض النووي الريبوزي. تتكون النيوكليوتيدات في كل من الحمض النووي و الحمض النووي الريبوزي من سكر و قاعدة نيتروجين و جزيء فوسفات. تتكون المادة الوراثية للخلية من الأحماض النووية ، والتي تمكن الكائنات الحية من نقل المعلومات الجينية من جيل إلى آخر. يختلف الحمض النووي و الحمض النووي الريبوزي اختلافاً طفيفاً جداً في تركيبتهما الكيميائية ، لكنهما يلعبان أدواراً بيولوجية مختلفة تماماً.

الأحماض النووية هي بوليمرات حيوية أو جزيئات حيوية كبيرة ضرورية لكافة أشكال الحياة المعروفة. يعتبر مصطلح الحمض النووي شاملاً للحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين DNA و الحمض النووي الريبوزي RNA، وهي تتألف من نيوكليوتيدات، التي تكون أحاديات القسيمات مكونةً من ثلاث مكونات: سكر خماسي الكربون، ومجموعة فوسفات، وقاعدة نيتروجينية. إذا كان السكر ريبوزا فإن المبلر هو حمض نووي ريبوزي RNA ، أما إذا كان السكر مشتقاً من الريبوز على هيئة ريبوز منقوص الأكسجين فإن المبلر الناتج هو حمض نووي ريبوزي منقوص الأكسجين DNA. تعتبر الأحماض النووية الجزيء الأكثر أهمية في جميع الجزيئات الحيوية. توجد بكثرة في جميع الكائنات الحية، حيث تعمل على إنشاء وتشفير ثم تخزين المعلومات الخاصة بكل خلية حية لكل كائن حي على وجه الأرض. وبدورها تعمل على نقل هذه المعلومات والتعبير عنها داخل وخارج نواة الخلية إلى العمليات الخلوية الداخلية وفي النهاية إلى الجيل التالي لكل كائن حي. تحتوى المعلومات المُشفرة وتنقل عبر تسلسل الحمض النووي، والذي يوفر ترتيباً سلمي للنيوكليوتيدات داخل جزيئات الحمض النووي الريبوزي والحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين.

ترتبط سلاسل النيوكليوتيدات لتشكيل السلسلة الرئيسية الحلزونية نموذجياً يحتوي واحداً الحمض النووي الريبوزي على واحدة والحمض النووي الريبوزي منقوص

الأكسجين على اثنتين، وتجمع في سلاسلٍ من أزواج القواعد المختارة من القواعد النووية الأساسية أو المقبولة الخمسة، وهي: الأدينين، والسائتوسين، والجوانين، والثايمين، واليواسيل. يوجد الثايمين فقط في الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين DNA واليواسيل فقط في الحمض النووي الريبوزي RNA. باستعمال الأحماض الأمينية والعملية المعروفة باسم الاصطناع الحيوي للبروتين، فإن تسلسلا معيناً في الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين DNA لهذه الأزواج القاعدية النووية يتيح تخزين ونقل تعليمات مشفرة مثل الجينات. أما في الحمض النووي الريبوزي RNA ، فإن تسلسل الأزواج القاعدية يزود لتصنيع بروتينات جديدة تحدد الإطارات والأجزاء ومعظم العمليات الكيميائية لجميع أشكال الحياة.





الأحماض النووية هي بوليمرات من النيوكليوتيدات. كيميائياً الأحماض النووية هي البولي نيوكليوتيدات سلاسل من النيوكليوتيدات. يتكون النيوكليوتيد من ثلاثة مكونات: سكر بنتوز ، و قاعدة نيتروجين ، و مجموعة فوسفات. السكر و القاعدة معا تشكل النيوكليوسيد. و من ثم ، يشار إلى النيوكليوتيد أحياناً باسم النيوكليوسيد أحادي الفوسفات. يلعب كل من المكونات الثلاثة للنيوكليوتيد دوراً رئيسياً في التجميع العام للأحماض النووية. فإن سكر البنتوز يحتوي على خمس ذرات كربون ، و هي تحمل علامة ١° ، 2° ، 3° ، 4° ، . 5° سكر البنتوز في الحمض النووي الريبي هو ريبوز ، مما يعني أن الكربون ٢° يحمل مجموعة الهيدروكسيل. السكر في الحمض النووي هو ديوكسيريبوز ، و هذا يعني يتم إرفاق الكربون ٢° لذرة الهيدروجين. يرتبط السكر بقاعدة النيتروجين في الكربون ١° و جزيء الفوسفات في الكربون ٥°.

ترتبط النيوكليوتيدات معا بواسطة روابط ثنائي استر الفوسفور (فوسفوديستر) يمكن لجزيء الفوسفات المرتبط بالكربون ٥° لنيوكليوتيد واحد أن يشكل رابطة تساهمية مع مجموعة ٣° الهيدروكسيل من نيوكليوتيد آخر ، لربط النيوكليوتيدات الاثنین معا. هذه

الرابعة التساهمية تسمى رابطة ثنائي-استر-الفسفور (فوسفوديستر). روابط الفوسفوديستر بين النيوكليوتيدات تخلق عمود فقري من السكر و الفوسفات بالتناوب في سلسلة من البولي نيوكليوتيد. يؤدي ربط الطرف ٥ ° لنيوكليوتيد واحد بنهاية الطرف ٣ ° الآخر الى اضعاف اتجاهية إلى سلسلة البولي نيوكليوتيد ، والتي تلعب دورا رئيسيا في تكرار الحمض النووي وتخليق الحمض النووي الريبي. في أحد طرفي سلسلة البولي نيوكليوتيد ، والتي تسمى النهاية ٣ ° يحتوي السكر على مجموعة حرة من ٣ ° الهيدروكسيل. في الطرف الآخر ، عند النهاية ٥ °، يحتوي السكر على مجموعة حرة من ٥ ° الفوسفات.

البيريميديئات و البيورينات

هما فنتان رئيسيتان من قواعد النيتروجين. القواعد النيتروجينية عبارة عن جزيئات تحتوي على حلقة أو حلقتين مكونتين من ذرات الكربون والنيتروجين. تسمى هذه الجزيئات "القواعد" لأنها قاعدية كيميائياً ، ويمكن أن ترتبط بأيونات الهيدروجين. هناك فنتان من قواعد النيتروجين: بيريميديئات وبيورينات. تحتوي البيريميديئات على هيكل حلقة من ستة أعضاء ، في حين أن البيورينات تتكون من حلقة من ستة أعضاء مدمجة في حلقة من خمسة أعضاء. تشمل البيريميديئات السيتوسين (C) والثايمين (T) واليوراسيل (U). تشمل البيورينات الأدينين (A) والجوانين (G). السيتوزين والأدينين والجوانين موجودين في كلا الحمضين النوويين. الثايمين خاص بالحمض النووي DNA ، ويوجد اليوراسيل فقط في الحمض النووي RNA. يمكن أن تشكل البيورينات والبيريميديئات روابط هيدروجينية مع بعضها البعض في نمط معين ، بناءً على وجود مجموعات كيميائية تكملية تشبه قطع أحجية الصور المقطوعة. في ظل الظروف الخلوية العادية ، يشكل الأدينين روابط هيدروجينية مع الثايمين في الحمض النووي DNA أو اليوراسيل في الحمض النووي RNA ، بينما يشكل الجوانين روابط هيدروجينية مع السيتوسين. اقتران القواعد التكميلي هذا هو أمر بالغ الأهمية لبنية الحمض النووي ووظيفته.

هيكل الحمض النووي الريبوزي

يتبنى الحمض النووي بنية حلزونية مزدوجة داخل الخلية. يتكون اللولب المزدوج من سلسلتين من البولي نيوكليوتيد ، تسمى خيوط ، تلتف حول بعضها البعض بطريقة حلزونية. الخيطان في اتجاهين متعاكسين ، أو مضادان للتوازي لبعضها البعض ، مما يعني أن النهاية 5' لأحد الخيوط قريب من نهاية 3' للآخر. يتم ربط الخيطان معاً من خلال اقتران القاعدة التكميلي على سبيل المثال ، السيتوسين مع الجوانين في الحلزون المزدوج للحمض النووي ، يوجد العمود الفقري للسكر والفوسفات من الخارج ، في حين أن القواعد المرتبطة بالهيدروجين موجودة في الداخل. يوجد الحمض النووي الريبوزي في الغالب كجزء وحيد الخيط. يمكن لهذا الشريط المفرد من الحمض الريبوزي أن يشكل هياكل ثانوية محلية من خلال اقتران القاعدة التكميلي داخل الخيط. أنواع مختلفة من الهياكل الثانوية للحمض النووي الريبوزي لها وظائف مميزة داخل الخلية.

يشمل مصطلح الحمض النووي nucleic acid, الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين DNA والحمض النووي الريبوزي RNA، وهي أعضاء عائلة من البوليمرات الحيوية، وهو مرادف لتسمية عديد النوكليوتيد. سميت الأحماض النووية لاكتشافها الأولي داخل نواة الخلية، ولوجود مجموعات الفوسفات المرتبطة بحمض الفوسفوريك. ولكن على الرغم من اكتشافه لأول مرة داخل نواة الخلايا حقيقية النواة، إلا أن الأحماض النووية توجد في جميع أشكال الحياة، بما في ذلك البكتيريا، والميتوكوندريا، والبلاستيدات الخضراء، والفيروسات، تحتوي جميع الخلايا الحية على كل من الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين DNA والحمض النووي الريبوزي RNA باستثناء بعض الخلايا مثل خلايا الدم الحمراء الناضجة، بينما تحتوي الفيروسات إما على DNA أو RNA ، ولكن عادة لا تحتوي على كليهما. أيضا تتولد الأحماض النووية داخل المعمل، وذلك من خلال استخدام الإنزيمات (بوليميرازات DNA و RNA)، وأيضا عبر الاصطناع الكيميائي

للطور الصلب. تتيح الطرق الكيميائية أيضا توليد أحماض نووية متغيرة غير موجودة في الطبيعة، مثل الأحماض النووي الببتيدية.

تعتبر تسمية الحمض النووي أكثر شيوعا من باقي التسميات الأخرى، والتي تشمل: حامض النواة، حامض نووي، حمض النوى، حامض النيوكلييك. الأحماض النووية في العادة جزيئات كبيرة جدا، وجزيئات DNA هي على الأرجح أكبر الجزيئات الفردية المعروفة. يتراوح طول جزيئات الأحماض النووية البيولوجية المدروسة جيدا بين ٢١ نوكليويتيد RNA المتدخل الصغير إلى ملايين النوكليوتيدات كما هو الحال في الصبغيات الكبيرة (الصبغي البشري ١ هو جزيء واحد يحتوي على ٢٤٧ مليون زوج قاعدي). في معظم الحالات، جزيئات الدنا الطبيعية هي مزدوجة السلاسل وجزيئات RNA الطبيعية مفردة السلسلة، مع وجود العديد من الاستثناءات. بعض الفيروسات تملك جينومات مكونة من جزيئات RNA مزدوجة السلاسل وفيروسات أخرى تملك جينومات ذات رنا مفرد السلسلة، وفي بعض الحالات يمكن أن تتشكل بنى أحماض نووية ثلاثية أو رباعية السلاسل.

في التسميات المتفق عليها، ذرات كربون السكر التي ترتبط بها مجموعات الفوسفات هي كربوني النهاية ٣' والنهاية ٥'، هذا يعطي الأحماض النووية اتجاهية ونهايات جزيئات الأحماض النووية يشار إليها بالنهاية ٣' والنهاية ٥'. ترتبط القواعد النووية بجزيئات السكر عبر روابط جليكوسيدية تتشكل بين ذرة كربون حلقة البنتوز ١' وذرة نيتروجين في حلقة القاعدة النووية (N-1 مع البيريميدينات وN-9 مع البيورينات). تتواجد النوكليوسيدات غير القياسية كذلك في كل من RNA وDNA وعادة ما تكون نتيجة لتغيرات في النوكليوسيدات القياسية داخل جزيء DNA أو بشكل أساسي في نسخة RNA الأولية. جزيئات RNA الناقل تحتوي على عدد كبير من النوكليوسيدات المعدلة.

تتكون الأحماض النووية مزدوجة السلاسل من تسلسلات مكملة، وترابط واتسون-كريك لهذه النوكليوتيدات المتكاملة بين السلسلتين ينتج عنه بنية لولب مزدوج ثلاثية

الأبعاد منتظمة عالية التكرار. في المقابل، بنية جزيئات RNA و DNA مفردة السلسلة ليست مقيدة في لولب مزدوج منتظم، ويمكنها اتخاذ بُنى ثلاثية الأبعاد شديدة التعقيد مبنية على امتدادات قصيرة لتسلسلات أزواج قاعدية داخل جزيئية تشمل أزواج القواعد المرتبط بطريقة واتسون-كريك وأزواج قواعد غير معيارية، ومجموعة متنوعة من التأثيرات الثالثية المعقدة. جزيئات الأحماض النووية في العادة غير متفرعة، ويمكن أن تتخذ جزيئاتها بنية خطية أو دائرية. على سبيل المثال: صبغيات البكتيريا، البلازميدات، DNA الميتوكوندريا، و DNA البلاستيكية عادة ما تكون ذات جزيئات DNA دائرية مزدوجة السلاسل، في حين أن الصبغيات في أنوية حقيقيات النوى عادة ما تكون ذات جزيئات خطية مزدوجة السلاسل. معظم جزيئات RNA خطية جزيئات مفردة السلسلة لكن يمكن أن تنتج كل من جزيئات RNA الدائرية والمتفرعة من تفاعلات توصيل RNA . مجموع أعداد البيريميدينيات مساوٍ لمجموع أعداد البيورينات، وقطر اللولب المزدوج حوالي ٢٠ أنجستروم.

يختلف جزيء DNA أو RNA الواحد عن الآخر في تسلسل النيوكليوتيدات. يعتبر تسلسل النيوكليوتيد ذو أهمية كبيرة في علم الأحياء؛ وذلك لأنها تحمل التعليمات النهائية التي تُشفر جميع الجزيئات الحيوية، والتجمعات الجزيئية، والهياكل الخلوية وتحت الخلوية، والأعضاء، والكائنات الحية، كما تفعل مباشرة الإدراك والذاكرة والسلوك. بذلت جهودٌ هائلةٌ في تطوير طرق تجريبية لتحديد تسلسل النيوكليوتيدات في جزيئات DNA و RNA الحيوي، وحالياً يحدد يومياً تسلسل مئات ملايين النيوكليوتيدات في مراكز الجينوم والمعامل الأصغر في جميع أنحاء العالم. بالإضافة إلى الحفاظ على قاعدة بيانات تسلسل الحمض النووي في GeneBank، كما أن المركز الوطني لمعلومات التقنية الحيوية (NCBI) يوفر موارد تحليل واسترجاع للبيانات الموجودة في جينبانك (GenBank) والبيانات الحيوية الأخرى المتاحة.

الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين DNA

اكتشاف DNA وبنيته جاء نتيجة تراكم بحوث ومجهودات عدة علماء حيث استخلصه العالم السويسري فريدريك ميشر أول مرة سنة ١٨٦٩، ثم اكتشف فيبوس ليفين مكونات النوكليوتيد، ثم اكتشف بعده إروين تشارغاف قواعده وأواخر العقد ١٩٤٠، وقامت روزاليند فرانكلين ببحوث وأخذ صور حيود الأشعة السينية للدنا، ليتمكن بعدها جيمس واتسون وفرنسيس كريك من تتويج مجهودات الجميع باكتشاف بنيته اللولبية. حمض نووي ريبوزي منقوص الأكسجين DNA يوجد داخل خلايا كل الكائنات الحية وعدة فيروسات ويحوي المعلومات الوراثية التي تسمح بعمل وتكاثر وتطور هذه الكائنات. يُعنى جزيء الحمض النووي الريبي منزوع الأوكسجين (DNA) بحمل التعليمات الوراثية لكل كائن حي تقريباً، ولا تتيح بنيته الكيميائية الفريدة نسخ هذه المعلومات ونقلها لسلالة الكائن الحي وحسب، وإنما تؤمن للعلماء فرص تحري ذاك الكائن على مستوى جزيئي، وكنتيجة لذلك، تتصدر تقنيات البيولوجيا الجزيئية معظم أحدث الأبحاث العلمية.

الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين Deoxyribonucleic acid واختصاراً DNA هو حمض نووي يحتوي على المعلومات الوراثية المستخدمة في النمو والتكاثر وأداء الوظائف لدى جميع الكائنات الحية المعروفة. قطع DNA التي تحمل المعلومات الوراثية تسمى جينات، ولتسلسلات DNA الأخرى وظائف بنوية أو لها دور في تنظيم استخدام المعلومات الجينية. إلى جانب البروتينات والسكريات، DNA هو أحد الجزيئات الضخمة الثلاث الضرورية لجميع أشكال الحياة المعروفة.

يتكون DNA من مبلمرين طويلين من وحدات بسيطة تسمى النوكليوتيدات مع عمودين فقريين يتكونان من جزيئات السكر والفسفور مرتبطان بالتناوب بواسطة روابط فوسفات ثنائي الأستر. هاتين السلسلتين تمضيان في اتجاهين متعاكسين بالنسبة لبعضهما، أي في توازي متضاد. يرتبط بكل جزيء سكر (ريبوز منقوص الأكسجين) واحد من أربعة أنواع من الجزيئات تسمى قواعد نووية. تسلسل أو تتالي هذه القواعد الأربعة على طول العمود الفقري هو الذي يشفر المعلومات، وتقرأ هذه المعلومات باستخدام الشفرة الجينية التي تحدد تسلسل الأحماض الأمينية في

البروتينات. تُقرأ المعلومات المشفرة عبر نسخ أجزاء من DNA إلى الحمض النووي RNA في عملية تسمى النسخ. داخل الخلايا ينتظم DNA في بنى طويلة تسمى صبغيات. أثناء انقسام الخلية تتم مضاعفة هذه الصبغيات في عملية تضاعف DNA أو منح كل خلية بنوية مجموعة كاملة من الصبغيات الخاصة بها. تخزن حقيقيات النوى (الحيوانات، النبات، الفطريات، والطلائعيات) معظم DNA الخاص بها داخل نواة الخلية وبعضه في عضيات مثل الميتوكوندريا أو البلاستيدات. في المقابل، تخزن بدائيات النوى (بكتيريا، عتائق) DNA الخاص بها في السيتوبلازم فقط. داخل الصبغيات، تحزّم بروتينات الكروماتين مثل الهستونات DNA وتنظمه لتقلل من الحجم الذي يشغله، وتقود هذه البنى المحزّمة التآثرات بين DNA والبروتينات الأخرى، وتساعد على التحكم في الأجزاء التي يتم نسخها.

فضلا عن القواعد الأربعة الأساسية تتواجد في DNA قواعد غير معيارية مثل اليوراسيل والقاعدة ج وتختلف أسباب تواجدها بين تعرض القواعد الأساسية للمثيلة أو لكونها مواقع ارتباط إنزيمات محددة. بنية DNA ليست ثابتة وتتحكم فيها ظروف الخلية من: مستوى التميؤ، تسلسلات DNA، كمية واتجاه اللف الفائق، التغيرات الكيميائية للقواعد، نوع وتركيز الأيونات المعدنية ووجود متعددات الأمين في المحلول، حيث يتواجد DNA على عدة أشكال منها DNAa، DNAb و DNAc.

يتواجد DNA لدى حقيقيات النوى داخل النواة على شكل كروماتين لتسهيل عملية التعبير الجيني ولا يصبح على هيئة كروموسومات سوى في مرحلة الانقسام المتساوي حيث تتم عملية التضاعف والتحزيم، في حين أنه يتواجد لدى بدائيات النوى (البكتيريا، البكتيريا القديمة) في السيتوبلازم. أثناء التعبير الجيني تتم عملية نسخ الجينات إلى جزيئات رنا رسول وترجمتها إلى بروتينات بواسطة الريبوسوم. كمية DNA المشفّر للبروتين لدى الإنسان لا تتجاوز ١,٥% من إجمالي DNA والباقي أكثر من ٩٨% عبارة عن DNA غير مشفّر للبروتين يمكن

أن تشفر بعض تسلسلاته رنا غير مشفر مسؤول عن تنظيم التعبير الجيني. ٥٥% من DNA عبارة عن تسلسلات متكررة لا تعرف وظيفتها لحد الآن.

يتضرر DNA سواء طبيعياً بسبب نشاطات الخلية الروتينية مثل نشاطات التحلل المائي والإنزيمات أو بسبب العوامل الخارجية مثل المؤكسدات، عوامل البلعمة و الالتهام والإشعاعات الكهرومغناطيسية عالية الطاقة مثل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية حيث تُحدث هذه الأضرار تغييرات كيميائية في طبيعة DNA يمكن أن تؤدي إلى تثبيط أو تغيير وظيفة الجينات. توجد لدى الخلية آليات ترميم DNA تعمل على اكتشاف وإصلاح هذه الأضرار ويعتمد معدل سرعة ترميم DNA على عدة عوامل منها: عمر الخلية، نوعها، ومحيطها الخارجي، لكن عمليات الترميم هذه محدودة ويمكن أن تتراكم هذه التضررات مع مرور الزمن في الخلايا لتسبب السرطان، كما أن هذه التراكمات تبدو عاملاً أساسياً مهماً في الشيخوخة.

تقترح فرضية عالم RNA أن أشكال الحياة الأولى من الممكن أن تكون استعملت الرنا كمادتها الوراثية قبل أن يتطور DNA. تتطور المعلومة الوراثية عبر الزمن بسبب الطفرات والاحتياجات الطبيعية بواسطة العناصر الوراثية المتحركة كالجينات القافزة والينقولات الراجعة أو بسبب إعادة التركيب الجيني والنقل الأفقي للجينات.

للـ DNA استخدامات عديدة في التكنولوجيا، في الهندسة الوراثية يمكن تعديل النباتات والحيوانات جينياً لتحسين معدل إنتاجها ومقاومتها للأمراض والفيروسات، وفي علم الأدلة الجنائية يمكن استخلاص DNA من مسارح الجرائم وإدانة المشتبه بهم كما يمكن باستخدام البصمة الوراثية إجراء اختبار الأبوة بالـ DNA لتحديد والد الطفل البيولوجي، وفي تخزين DNA للبيانات الرقمية يمكن نظرياً تخزين حوالي ٤٥٥ مليون تيرابايت في كل جرام واحد من الدنا منفرد السلسلة، وفي تقنية DNA النانوية يمكن إنشاء هياكل بأبعاد النانو لها استخدامات نظرية محتملة واسعة في: الفيزياء الحيوية مثل الأسلاك الجزيئية، علم البلورات لتحديد أشكال جزيئات كانت مستعصية من قبل، طب النانو لتوصيل الدواء الدقيق والقضاء

على الخلايا الورمية. كما يستخدم DNA في علم الوراثة العرقي وعلم الأنساب الجيني لتحديد تاريخ الشعوب وتحديد هجرات الإنسان العاقل عبر التاريخ.

DNA عبارة عن بوليمر طويل مكون من وحدات متكررة تسمى نوكليويدات، بُنية الدنا ديناميكية على طول امتدادها، كونها قادرة على الالتفاف إلى حلقات ضيقة وأشكال أخرى. في كل الأصناف يتكون DNA من سلسلتين لولبيتين مرتبطتين بعضهما البعض بواسطة روابط هيدروجينية، كلا السلسلتان ملتفتان حول نفس المحور ولهما نفس طول السن الولبي ٣٤ أنجستروم (٣,٤ نانومتر) والقطر ١٠ أنجستروم (١ نانومتر). تبعا لدراسة أخرى تم فيها القياس في محلول مختلف، وُجد أن عرض سلسلة DNA من ٢٢ إلى ٢٦ أنجستروم (٢,٢-٢,٦ نانومتر) وطول نوكليويدة واحدة ٣,٣ أنجستروم (٠,٣٣ نانومتر)، رغم أن وحدة النوكليويد المتكررة صغيرة جدا إلا أن بوليمرات DNA يمكن أن تكون كبيرة جدا وتحوي ملايين أو مئات الملايين من النوكليويدات، مثلا: الدنا في أكبر كروموسوم بشري الكروموسوم ١ يتكون مما يقارب ٢٢٠ مليون زوج قاعدي وسيبلغ طوله ٨٥ ملم لو تمت إطالته.

لا يتواجد DNA عادة في الكائنات الحية على شكل جزيء واحد، وإنما زوج من الجزيئات مشدود لبعضه بشدة، تلتف هاتين السلسلتين الطويلتين حول بعضهما البعض على شكل لولب مزدوج، يحتوي النوكليويد على كل من العمود الفقري للجزيء الذي يضمن تماسك السلسلة وقاعدة نووية التي تترابط مع قاعدة في الشريط الآخر باللولب. القاعدة النووية المرتبطة بسكر تسمى نيوكليوسيد والقاعدة المرتبطة بسكر ومجموعة من الفوسفات أو أكثر تسمى نوكليويد. البوليمر المتكون من عدة نوكليويدات مترابطة يسمى عديد النوكليويد.

يستقر اللولب المزدوج لل DNA أساسا بواسطة قوتين: الروابط الهيدروجينية بين النوكليويدات وتفاعلات التراص بين القواعد النووية العطرية. ، في الوسط المائي للخلية روابط باي (π) المترافقة لقواعد النوكليويدات تتراص عموديا مع محور جزيء الدنا مقللة تفاعلاتها مع غلاف التذبذب.

الحمض النووي الريبوزي RNA

الحمض النووي الريبوزي RNA ، هو جزيء حيوي يتواجد تقريبًا لدى كل الكائنات الحية والفيروسات، كما يلعب أدوارًا متعددة في نقل وتشفير وفك تشفير وتنظيم التعبير عن المعلومات الوراثية وتحفيز العديد من التفاعلات الكيميائية، تحويل المعلومات الوراثية في الجينات إلى تسلسلات الأحماض الأمينية في البروتينات. الرنا والدنا RNA & DNA من أهم الأحماض النووية التي تُشكّل إلى جانب كل من البروتينات والليبيدات والسكريات المتعددة الجزيئات الضخمة الأربعة الضرورية للحياة.

تركيب الرنا مشابهة لتركيب الدنا فكلاهما يتكون من تسلسل نوكلئوتيداتٍ متعدد، لكنهما يختلفان في أن الرنا يتواجد في معظم الحالات على شكل سلسلة مفردة قصيرة يتراوح طولها بين عدة نوكلئوتيدات إلى آلاف النوكلئوتيدات بينما يكون الدنا دائمًا على هيئة لولب مزدوج يبلغ طوله من عدة ملايين إلى عدة مليارات من الأزواج القاعدية فضلًا عن ذلك، سكر العمود الفقري في الرنا هو الريبوز بدل الريبوز منقوص الأكسجين في الدنا والقاعدة المكملة للأدينين هي اليوراسيل بدل الثايمين .

الرنا أكثر غنى بالقواعد المعدلة من الدنا وذلك لقيامه بالعديد من الوظائف الخلوية، ويوجد فيه ما يزيد عن ١٠٠ نوكلئوسيد معدل يتواجد أكثرها في الرنا الناقل . لا توجد بنية مستقرة دائمة يتخذها تسلسل رنا معين، بل يمكن لنفس التسلسل اتخاذ العديد من البنى حسب نوع الرابطة التي يترابط معها والظروف الفيسيولوجية الكيميائية الخلوية، ويمكنه مثل البروتين اتخاذ بنية ثانوية و ثلاثية و رباعية للقيام بوظائفه التحفيزية، تتطلب هذا التركيب ترابط قواعد غير معياري لا يتواجد في الدنا مثل الترابط المقصوص وتأثر ريبوزقاعدة، حيث لوحظ لدى الرنا ما يزيد عن ١٥٠ نوعا من الترابط .

يُخلَق الرنا من الدنا عبر عملية النسخ بواسطة إنزيمات بوليميراز الرنا وينتج رنا رسول أولي يخضع لتعديلات حتى يصبح رنا ناضجًا جاهزًا لأداء وظيفته. حوالي

٩٧% من الرنا المخلّق لا يشفر بروتينا ومعظمه رنا ريبوسومي، الأنواع الثلاثة الشهيرة من RNA هي: RNA الرسول، RNA الناقل، وRNA الريبوسومي. يعمل RNA الرسول على حمل تسلسل المعلومة الوراثية من الدنا إلى الريبوسومات، وتوجيه عملية تخليق البروتين عبر عملية الترجمة. RNA الريبوسومي هو مكون رئيسي في الريبوسوم ويحفز إنشاء الرابطة الببتيدية. يعمل RNA الناقل كحامل لجزيئات الأحماض الأمينية التي تُستخدم في تخليق البروتين وهو مسؤول على فك شفرة RNA الرسول، فضلا عن ذلك توجد العديد من أنواع RNA الأخرى أهمها RNA المتدخل الصغير وRNA الميكروي اللذين لهما دور في عملية تنظيم التعبير الجيني عبر عملية تدخل RNA ، وRNA غير المشفر الطويل الذي له دور في تنظيم التعبير الجيني والتخلق.

جينومات العديد من الفيروسات تحتوي على الرنا فقط كحامل للمعلومة الوراثية وتتضاعف إما بمساعدة إنزيمات الخلية المضيفة أو بتحويل الرنا الخاص بها إلى دنا ودمجه مع دنا الخلية المضيفة. توجد دراسات لاستخدام جزيئات الرنا في العلاج؛ وبشكل خاص الرنا الميكروي والرنا الصغير المتدخل عبر استهداف الجينات الفيروسية لإسكاتها ومحاربة العدوى والأمراض، أو استهداف جينات الاورام للقضاء على السرطان .

تصنيف وترايط القواعد النووية

تنقسم قواعد DNA النووية الأساسية إلى قسمين: البيورينات ويندرج ضمنها الأدينين والجوانين وهما جزيئان ثنائيا الحلقة يحويان حلقتين متغايرتين مندمجتين إحداهما سداسية والأخرى خماسية، والبريميدينات ويندرج ضمنها السيتوسين والثايمين وهما جزيئان أحاديا الحلقة عبارة عن حلقة سداسية متغايرة. تتشكل الأزواج القاعدية للولب المزدوج لDNA بترايط بيورين في إحدى السلسلتين مع بيريميدين في السلسلة الأخرى بواسطة اثنتين أو ثلاثة من الروابط الهيدروجينية:

١- يرتبط الأدينين مع الثايمين بواسطة رابطتي هيدروجين ليشكل الرابطة $A=T$.

٢- يرتبط الجوانين مع السائتوسين بواسطة ثلاث روابط هيدروجينية ليشكل الرابطة $G \equiv C$.

يسمى هذا الترابط لقاعدتين نوويتين من سلسلتي اللولب المزدوج بترابطة واتسون-كريك، يوجد نوع آخر من الترابط يسمى ترابط هوجستين يتم فيه ترابط قاعدتي الجوانين والسيتوسين بواسطة رابطتي هيدروجين. كون الروابط الهيدروجينية غير تساهمية يسمح بكسرها وإعادة ربطها بسهولة ومنه يمكن فصل سلسلتي اللولب المزدوج لـ DNA كالحساب سواء بقوة ميكانيكية أو بدرجة حرارة مرتفعة. ونتيجة لهذا التكامل في ترابط القواعد فإن جميع المعلومات التي تحويها إحدى سلسلتي اللولب المزدوج منسوخة في السلسلة الأخرى وهو أمر أساسي في عملية تضاعف DNA ومختلف وظائفه الأخرى لدى الكائنات الحية.

قواعد غير معيارية

لا يوجد اليوراسيل عادة في DNA ، ولا يظهر سوى كنتيجة تفكك للسيتوسين، لكن في العديد من عاثيات البكتيريا تم استبدال الثايمين باليوراسيل، .

لإنتاج RNA وظيفي لا يتم سوى نسخ جزء معين من إحدى سلسلتي DNA التي تحتوي على الجين وذلك لأن السلسلتين ليستا متماثلتين، ويقال لتسلسل الدنا بأنه "اتجاه" إذا كان مماثلاً لتسلسل على نسخة RNA الرسول التي تُرجمت إلى بروتين ويكون ذلك في السلسلة التي لم يتم نسخها ، أما تسلسل السلسلة القالب (التي تم نسخها) فيسمى ضد الاتجاه وذلك لأنه مكمل لتسلسل RNA الرسول. تسمى أحيانا السلسلة التي يتم نسخها سلسلة التشفير والمقابلة لها سلسلة اللاتشفير إلا أن هذه الدلالة صالحة فقط بالنسبة لجين معين وذلك لأن سلسلتي نفس اللولب المزدوج من DNA يمكن أن تشفر بروتينات مختلفة. يمكن أن يتواجد كلا التسلسلين الاتجاه وضد الاتجاه على أجزاء مختلفة من نفس سلسلة DNA (أي يمكن لكلا السلسلتين أن تحويا كلا من الاتجاه وضد الاتجاه).

يتم إنتاج تسلسلات RNA ضد الاتجاه في كل من حقيقيات وبدائيات النوى، إلا أن وظائفها غير واضحة بالكامل، ويشير أحد الاقتراحات إلى أن سلاسل RNA ضد الاتجاه تساهم في تنظيم التعبير الجيني عبر ترابط قواعد RNA- RNA .

بعض تسلسلات DNA في بدائيات وحقيقيات النوى وبنسبة أكثر في البلازميدات والفيروسات يتعسر فيها التمييز بين سلسلتي الاتجاه وضد الاتجاه لوجود جينات متداخلة. في هذه الحالات تقوم تسلسلات DNA بوظيفة مضاعفة، تشفير بروتين معين حين تتم قراءتها على طول إحدى السلسلتين، وبروتين آخر حين تقرأ في الاتجاه المعاكس على طول السلسلة الأخرى. في البكتيريا قد يساهم هذا التداخل في تنظيم نسخ الجينات ، أما لدى الفيروسات فيزيد في مقدار المعلومة التي يمكن تشفيرها داخل جينوم فيروسي صغير.

DNA فائق الالتفاف

يكون DNA خلال معظم عمر الخلية ملفوفا بخفة حول الهستونات ولا يكون مركزا على هيئة كروموسوم، ولا يظهر اللف الفائق لل DNA على شكل كروموسومات إلا خلال مرحلة انقسام الخلية. يمكن لف DNA مثل الحبل خلال عملية تسمى لف الدنا الفائق، وفي حالة الراحة تلتف سلسلة DNA حول محور اللولب المزدوج مرة كل ٤- ١٠ زوج قاعدي، أما إن كان DNA ملفوفا فإن سلسلتيه تصبحان أشد أو أخف التفافا. حيث إن كان ملفوفا في اتجاه اللولب المزدوج فإن القواعد تصبح مترابطة أكثر ويسمى ذلك الالتفاف الموجب؛ أما إن كان ملفوفا عكس اتجاه اللولب المزدوج فإن القواعد تصبح أقل ترابطة ويسمى ذلك بالالتفاف السالب. لمعظم DNA في الطبيعة التفاف فائق سلبي تحدّثه إنزيمات التوبوايزوميراز، هذه الإنزيمات مطلوبة لتزيل التفاف سلسلتي DNA أثناء عمليتي نسخ وتضاعف الدنا.

الخصائص الفيزيائية والكيميائية للولب المزدوج

كما ذكر سابقا، معظم جزيئات الدنا عبارة عن سلسلتي بوليمير مرتبطة مع بعض على شكل لولبي بواسطة روابط غير تساهمية، هذه البنية مزدوجة السلاسل تستقر بشكل

كبير بواسطة تفاعلات القواعد المحزومة مع بعضها في سلسلة واحدة، وهي قوية في تسلسلات G،C. يمكن للسلسلتين أن تنفصلا في عملية تسمى بالذوبان لتشكيل جزيئي سلسلتين منفردتين وهو ما يسمى إفساد DNA. يحدث الذوبان عند درجة حرارة عالية، كميات أملاح منخفضة وأس هيدروجيني مرتفع (الأس الهيدروجيني المنخفض يذيب الدنا، لكن بما أن DNA غير مستقر بسبب نزع البيورين الحمضي؛ نادرا ما يستخدم الأس الهيدروجيني المنخفض).

لا يعتمد استقرار بنية اللولب المزدوج على محتوى G-C فقط (لأن أزواج القواعد C-G تحتوي على ثلاث روابط هيدروجينية بينها، و A-T رابطتين) ولكن على التسلسل كذلك (لأن التحزيم له علاقة بالتسلسل) وطوله (كلما كان الجزيء أطول، استقر أكثر). يمكن قياس الاستقرار بطرق عديدة، أشهرها هي "درجة حرارة الذوبان" وهي درجة حرارة تتحول فيها ٥٠% من الجزيئات مزدوجة السلاسل إلى جزيئات منفردة السلاسل، وتعتمد درجة حرارة الذوبان على قوة الأيونات وتركيز DNA. وكنتيجة يساهم كل من نسبة أزواج القواعد G-C وطول اللولب المزدوج للدنا في تحديد قوة ترابط سلسلتي DNA. لوالب الدنا الطويلة التي لديها محتوى C-G كبير تتربط سلاسلها بشكل قوي، في حين أن اللوالب القصيرة التي لديها محتوى A-T كبير تمتاز سلاسلها بترابط ضعيف. في علم الأحياء أجزاء لولب DNA التي يمكن فصلها بسهولة مثل صندوق بربنو ذي التسلسل TATAAT في بعض المحفزات، تميل أن يكون لديها محتوى A-T كبير وهو ما يجعل انفصال سلاسلها أكثر سهولة.

يمكن قياس قوة التفاعلات في المعمل بإيجاد درجة الحرارة الضرورية لكسر الروابط الهيدروجينية (التي تسمى كذلك قيمة T_m) والتي يمكن قياسها بتتبع الامتصاص الضوئي لأطوال الموجات ٢٦٠ نانومتر في محلول يحتوي على DNA، حيث يزداد هذا الامتصاص عند تفكك أزواج القواعد وهو ما يسمى فرط الكرومية. حين تذوب كل الروابط بين أزواج القواعد في لولب DNA مزدوج، تنفصل السلسلتان وتبقيان في المحلول كجزيئين مستقلين عن بعضهما تماما، جزيئات DNA منفردة السلاسل هذه لا تكون لها بنية مألوفة، لكن بعض البنيات التي تتخذها أكثر استقرار من الأخرى.

يتواجد DNA على عدة بنيات منها DNAa ، DNAb و DNAc ، رغم أنه لم يتم سوى ملاحظة بنيته DNAa ، و DNAb في كائناتٍ وظيفيةٍ البنية التي يتخذها الدنا تعتمد على مستوى التميؤ، تسلسل DNA ، كمية واتجاه اللف الفائق، التغيرات الكيميائية للقواعد، نوع وتركيز الأيونات المعدنية ووجود متعددات الأمين في المحلول.

لمعرفة بنية DNA قام العلماء باستخدام تقنية دراسة البلورات بالأشعة السينية وكانت التقارير المنشورة الأولى حول أنماط حيود الأشعة السينية للـ DNAa ، و DNAb قد استخدمت دراسات مبنية على تحول باتيرسون التي أعطت معلومات محدودة عن هيئة سلال الدنا الموجهة. وفي سنة ١٩٥٣ تم اقتراح دراسات أخرى بواسطة ويلكنز وآل لأنماط حيود الأشعة السينية DNAb العالي التميؤ في الكائنات الحية وكانت عبارة عن مربعات دالة ببسل. قدم جيمس واتسون وفرنسيس كريك دراساتها حول النموذج الجزيئي لأنماط حيود الأشعة السينية للدنا مقترحين أن الهيئة كانت لولبا مزدوجا.

رغم أن DNAb هي الأكثر شيوعا في الظروف الموجودة داخل الخلايا إلا أنها ليست هيئة محددة بدقة وإنما عائلة متقاربة من هيئات الدنا التي تظهر في حالات التميؤ العالية الموجودة داخل الخلايا الحية، وأنماط حيود الأشعة السينية الخاصة بها هي سمة تميز نظائر البلورات paracrystals مع درجة معتبرة من عدم الانتظام.

مقارنة بالـ DNAb فإن الـ DNAa له قطر أكبر ويميني الإتجاه كذلك وله ثلم صغير سطحي وعريض وثلم كبير أضيق وأعمق، تظهر هذه الهيئة في الظروف غير الفيسيولوجية في عينات الدنا المجففة جزئيا، أما في الخلايا الحية فيمكن أن يتم إنتاجه بتزواج هجين لسلاسل DNA و RNA وكذلك في مركبات إنزيم-DNA. قطع DNA التي عُدلت فيها القواعد كيميائيا بواسطة المثيلة يمكن أن تخضع لتحول كبير في الهيئة وتتخذ البنية DNAc التي تلتف فيها القواعد على يسار محور اللولب عكس البنية DNAb الأكثر شيوعا هذا الشكل غير الاعتيادي يمكن التعرف

عليه بواسطة بروتينات ترتبط بشكل خاص مع DNAc ويمكن أن يكون له دور في تنظيم النسخ.

الخصائص الهيكلية لأشكال الدنا الرئيسية الثلاث للولب المزدوج			
خصائص	DNAa	DNAb	DNAc
اتجاه اللولب المزدوج	يمين	يمين	يسار
تكرار الوحدة	1 bp	1 bp	2 bp
زاوية دوران اللولب المزدوج لكل زوج قاعدي	32,7°	34,3°	60°, 2°
عدد الأزواج القاعدية لكل دورة للولب المزدوج	11	10,5	12
السن اللولبي للولب المزدوج لكل دورة	2.82 نانومتر	3.32 نانومتر	4.56 نانومتر
البعد بين القواعد داخل اللولب المزدوج	0.26 نانومتر	0.34 نانومتر	0.37 نانومتر
القطر	2.3 نانومتر	2.0 نانومتر	1.8 نانومتر
انحناء الأزواج القاعدية بالنسبة لمحور اللولب المزدوج	+19°	-1,2°	-9°
متوسط الالتواء (<i>propeller twist</i>)	+18°	+16°	0°
اتجاه القواعد بالنسبة للسكر	عكس	عكس	بيريميدين : عكس بيورين
انحناء روابط ذرات السكر (<i>Sugar pucker</i>)	-C3' إندو	-C2' إندو	سايتوسين C2' : -إندو جوانين G 2 : -إكسو

يتم تكوين موصل هوليدي خلال التآشير المتماثل بين جزيئي DNA يحملان نفس المعلومة الوراثية (صبغيات متماثلة، كروماتيدات شقيقة)، لدى هذا الموصل هيئة على

شكل صليب مع تسلسلات متماثلة تسمح له بالتحرك نحو اتجاه واحد أو الآخر. يتم إنشاؤه بواسطة مركب إنزيمي يسمى ريزولفاز (رتا ٤, ٢٢, ١, ٣) ويمكن أن يقود إلى تعابر بين الجزيئين ينتج عنه تبادل للمعلومات الوراثية.

يمكن لتسلسلات DNA المتناظرة الالتفاف وتشكيل بنية تسمى الحلقة الجذعية، بعض التسلسلات وخاصة التسلسلات ثلاثية النوكليوتيد (CAG)_n أو (CTG)_n يمكن أن تشكل دبابيس شعر غير تامة (DNA دبوس الشعر) تكون فيها جزيئات الجوانين والسيتوسين مترابطة وجزيئات الأدينين والثايمين غير مترابطة.

الدنا الثلاثي: هي هيئة دنا تقوم فيها ثلاث جزيئات قليل النوكليوتيد بالالتفاف حول بعضها لتشكيل لولب ثلاثي، في هذه البنية تقوم سلسلة DNA منفردة بالارتباط بلولب DNA مزدوج من البنية DNAb بواسطة الروابط الهيدروجينية العادية أو المعكوسة لهوجستين، ويمكن أن تلعب هذه الهيئة دورا في التنظيم الوظيفي للتعبير الجيني عن طريق تعديل نسخها لجزيئات رنا.

DNA الرباعي تحتوي نهاية الصبغي الخطي على مناطق خاصة تدعى قسيمات طرفية وظيفتها السماح للخلية بمضاعفة نهايات الصبغي باستخدام إنزيم تيلوميريز وذلك لأن الإنزيمات التي تُضاعف DNA عادة لا يمكنها نسخ النهايات ١٣ للصبغيات، كما تساعد هذه المناطق في حماية نهايات الدنا وإيقاف أنظمة الترميم في الخلية من اعتبارها تلفا يجب إصلاحه. في الخلايا البشرية القسيمات الطرفية عبارة سلسلة منفردة من الدنا تحوي الآلاف من الوحدات النوكليوتدية البسيطة TTAGGG المتكررة.

هذه التسلسلات الغنية بالجوانين يمكن أن تجعل نهايات الصبغي مستقرة بتشكيل هياكل مرصوصة بوحدات رباعية القواعد بدل ثنائية القواعد المعتادة الموجودة في هياكل الدنا الأخرى، حيث تقوم أربع قواعد جوانين بتشكيل وحدة رباعية مسطحة وبعدها تتراس هذه الوحدات الرباعية فوق بعضها لتشكيل بنية رباعي الصبغ مستقرة. تستقر

هذه الهياكل الرباعية بواسطة روابط هيدروجينية بين نهايات هذه القواعد وتشبث أيون معدني في مركز كل وحدة رباعية.

بالإضافة إلى هذه الهياكل المرصوصة، تشكل التيلوميرات الطرفية كذلك هياكل تسمى حلقات التيلومير الطرفي أو حلقات ت تقوم فيها سلسلة DNA منفردة بالالتواء في حلقة طويلة تستقر بواسطة إنزيمات ترتبط بالتيلوميرات الطرفية. في نهاية الحلقة يتم ضم السلسلة المنفردة للقسم الطرفي إلى منطقة لدناً مضاعف السلسلة وهذا يتسبب في إخلال التزاوج القاعدي لإحدى سلسلتي هذا اللولب المزدوج وتشكيل بنية ثلاثية السلاسل تسمى حلقة الإزاحة أو الحلقة d.

DNA المتفرع: يحدث انسلال الدنا في إحدى نهايتي اللولب المزدوج حين تتوقف تسلسلات سلسلتيه عن كونها متكاملة حيث تفترق السلسلتان عن بعضهما وتتخذان هيئة Y، ويمكن لل DNA أن يتشعب إن وجدت سلسلة دنا ثالثة تحوي تسلسلا مكملًا لكلا تسلسلي السلسلتين المفترقتين، فنتشكل هيئة مزدوجة متكاملة على شكل Y. مع أن أبسط أمثلة DNA المتفرع تحوي ثلاث سلاسل DNA فقط فإن تواجد مركبات متفرعة تحوي سلاسل إضافية و عدة تفرعات أخرى ممكن كذلك. ويتم استخدام DNA المتفرع في تقنية النانو لل DNA لإنشاء أشكال هندسية.

تركيب كيميائي بديل للدنا

يتأثر التعبير الجيني بطريقة تحزيم ال DNA Packaging في الكروموسومات على هيئة تسمى كروماتين، يمكن لبعض القواعد المعدلة أن تكون لها علاقة بتكوين الكروماتينات في المناطق ضعيفة أو عديمة التعبير الجيني والغنية بقواعد السيتوسين عن طريق المثيلة خاصة في المناطق CpG، يمكن للهستونات التي يلتف الدنا حولها في الكروماتين أن تتغير بطريقة تساهمية ويمكن للكروماتين بحد ذاته أن يتغير بواسطة مركبات تغيير بنية الكروماتين، علاوة على ذلك فإن مثيلة الدنا والتعديل التساهمي للهستونات يساهمان معا في التأثير على الكروماتين والتعبير الجيني.

تضرر

يمكن للـ DNA التضرر بأنواع مختلفة من الطفرات التي تغيّر تسلسله، تتضمن هذه الطفرات: المؤكسدات، عوامل التآكل والإشعاعات الكهرومغناطيسية عالية الطاقة مثل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية. يتعلق نوع الضرر الحاصل بنوع المطفر فعلى سبيل المثال يمكن للأشعة فوق البنفسجية الإضرار بالـ DNA بإنتاج ثنائيات الثايمين وهي روابط جانبية بين قواعد البيريميدين. من جهة أخرى تسبب المؤكسدات مثل الجذور الكيميائية الحرة أو بيروكسيد الهيدروجين أنواع مختلفة من الأضرار منها تغيير القواعد -خاصة الجوانوزين وشروخ في السلسلة المزدوجة للدنا، حيث يبلغ متوسط عدد القواعد التي عانت أضراراً من المؤكسدات في خلية نموذجية حوالي ١٥٠ ألف قاعدة. أخطر هذه الآفات التأكسدية هي شروخ السلاسل المزدوجة وذلك لأنها صعبة الإصلاح وقد تُنتج طفرات نقطية، ادخال أو حذف في تسلسلات DNA وكذلك انتقالات صبغية. يمكن لهذه الطفرات أن تسبب السرطان بسبب آليات إصلاح DNA المحدودة طبيعياً، لذا إن عاش البشر لوقت طويل بما فيه الكفاية فإن جميعهم في النهاية سيصاب بالسرطان.

تضررات DNA التي تحدث طبيعياً بسبب النشاطات الطبيعية للخلية التي تنتج كائنات متفاعلة مع الأكسجين، نشاطات الحلمأة لماء الخلية تظهر بشكل متواتر كذلك رغم أن معظم هذه الأضرار يتم إصلاحها. في أي خلية تبقى بعض تضررات DNA رغم عمليات الإصلاح وتتراكم هذه التضررات مع مرور الزمن في الخلايا تالية التفتل لأنسجة الثدييات، هذا التراكم يبدو عاملاً أساسياً مهماً في الشيخوخة.

تدخل العديد من المطفرات في الفراغ الموجود بين زوجين قاعديين متجاورين فيما يعرف بـ الإقحام ومعظم المقتحات جزئيات عطرية ومستوية ومن الأمثلة: بروميد الإيثيديوم و الأكريدينات ، لكي يدخل المقتحم بين القواعد يجب عليه فصلها وهذا يشوه سلسلتي DNA بسبب فك التواء اللولب المزدوج، هذا التشوه يمنع كلا من نسخ وتضاعف DNA ويسبب تسمما وطفرات. وكنتيجة لذلك يمكن لمقتحات DNA أن

تكون مسرطنات وفي حالة الثاليدوميد، ماسخات، مقتحات أخرى مثل بنزو (a) بيرين ديول إيبوكسيد وأفلاتوكسين يشكلان نواتج إضافة تُحدث أخطاءً في التضاعف. مع ذلك وبسبب قدرتها على تعطيل ومنع نسخ وتضاعف الدنا؛ تستخدم مقتحات سامة أخرى مشابهة في العلاج الكيميائي لمنع النمو السريع للخلايا السرطانية.

عادة ما يكون DNA على شكل صبغيات خطية عند حقيقيات النوى وصبغيات دائرية عند بدائيات النوى ومجموع الصبغيات في خلية واحدة يشكل الجينوم، يحتوي جينوم الإنسان على ما يقارب 3 مليارات زوج قاعدي منتظمة في 46 صبغيا. المعلومات المحمولة في DNA موجودة في تسلسلات قطع منه تسمى الجينات، يتم تناقل المعلومة الوراثية في الجينات عبر ترابط قاعدي متكامل مثلا: حين تستخدم الخلية المعلومة الموجودة في الجين يتم نسخ تسلسل DNA إلى تسلسل RNA مكمل عبر التجاذب بين DNA والنوكليوتيدات الصحيحة للرناء، وتستخدم هذه النسخة -عادة- لاصطناع تسلسل بروتين مماثل عبر عملية تسمى الترجمة والتي تعتمد على نفس التجاذب بين نوكلبيوتيدات RNA ، ومن جهة أخرى يمكن للخلية نسخ معلوماتها الوراثية خلال عملية تسمى تضاعف DNA ، تفاصيل هذه العمليات ستذكر في العناوين التالية وسيكون التركيز في العوان التالي على التفاعلات بين DNA والجزئيات الأخرى التي تتدخل في وظائف الجينوم.

الجينات والجينومات

يُحزم جينوم DNA بشدة وانتظام خلال عملية تسمى تكثيف DNA ليسع الأحجام الصغيرة المتوفرة في الخلية، يتواجد DNA عند حقيقيات النوى في النواة مع كميات صغيرة في الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء أما عند بدائيات النوى فإن DNA مخزن في جسيم غير منتظم الشكل يسمى نواني. المعلومات الجينية في الجينوم موجودة داخل الجينات ومجموع هذه المعلومات في كان حي يسمى نمط جيني، والجين هو وحدة وراثية وهو عبارة عن منطقة من DNA تؤثر في صفة معينة لكائن ما،

تحتوي الجينات قالب قراءة مفتوح يمكن نسخه بالإضافة إلى تسلسلات منظمة مثل المحفزات والمعززات والتي تتحكم في عملية نسخ قالب القراءة المفتوح.

في العديد من الأجناس لا يُشفر البروتين سوى كمية صغيرة من المجموع الكلي للجينوم، على سبيل المثال عند البشر ١,٥% من الجينوم البشري عبارة عن إكسونات تشفر بروتينات، مع كون ٥٠% من DNA البشري عبارة عن تسلسلات متكررة غير مُشفرة. يمثل سبب وجود كم كبير من DNA غير المشفر في جينوم حقيقيات النوى والفروق الكبيرة في حجم الجينوم القيمة س بين الأجناس لغزا طويل الأمد يعرف بدالة القيمة س. رغم ذلك بعض تسلسلات DNA غير المشفرة يمكن أن تشفر RNA غير مشفر وظيفيا مهمته ضبط التعبير الجيني.

بعض تسلسلات DNA غير المشفرة تلعب أدوارا بنيوية في الصبغيات، تحتوي القسيمات الطرفية والقطع المركزية على بعض الجينات لكنها مهمة لوظيفة واستقرار الصبغيات. الجينات الكاذبة نوع وافر في الجينوم البشري من DNA غير المشفر وهي نسخ من جينات تم تعطيلها بواسطة الطفرات، هذه الجينات الكاذبة عبارة عن مستحاثات جزئية رغم أنها تلعب أحيانا دور المادة الجينية الخام لإنشاء جينات جديدة عبر عملية التضاعف الجيني وعملية التطور التبايدي.

الانقسام الخلوي عملية أساسية لنمو الكائن، وحين تتم هذه العملية فعلى الخلية مضاعفة DNA في جينومها لكي تحصل الخليتين البنيت على نفس المعلومات المتواجدة في الخلية الأم، توفر هيئة DNA اللولبية المزدوجة طريقة بسيطة لتضاعف DNA. أثناء عملية التضاعف تقوم إنزيمات التوبويزوميريز بفك التواء السلسلة المضاعفة ثم تقوم إنزيمات الهيليكييز بحل الروابط الهيدروجينية بين النوكليوتيدات وفصل السلسلتين عن بعضهما وبعدها يتم إنتاج سلسلتين متكاملتين بواسطة إنزيم بوليميريز DNA ، تقوم هذه الإنزيمات بإنتاج سلسلة مكملة بإيجاد القاعدة الصحيحة عبر ترابط القواعد المكمل ثم ربطها بالسلسلة الأصلية، ولأن إنزيمات بوليميراز DNA لا تُنتج السلاسل سوى في الاتجاه ٥' إلى ٣' يتم استخدام طريقة أخرى لنسخ السلاسل المقابلة في لولب

DNA المزدوج. بهذه الطريقة القاعدة في السلسلة القديمة تحدد القاعدة التي ستظهر في السلسلة الجديدة ويغدو لدى الخلية نسخة جديدة من دناها.

تضاعف DNA

يتم فك لولب DNA المضاعف بواسطة إنزيمي توبوايزوميريز والهليكيز، بعدها ينتج إنزيم بوليميريز DNA δ نسخة من السلسلة القائدة، أما السلسلة المتأخرة فيقوم إنزيم بوليميراز DNA α بإنتاج قطع غير مستمرة (تسمى قطع أوكازاكي) ليقوم بعدها إنزيم ليغيز DNA بتجميعها مع بعض لإنتاج سلسلة كاملة.

التعبير الجيني

التعبير الجيني هو تحول النمط الجيني لكائن ما إلى نمط ظاهري؛ أي إلى مجموعة الخصائص المميزة للكائن، تتأثر هذه العملية بالعديد من المحفزات الخارجية المختلفة وتحتوي ثلاث مراحل أساسية كبيرة هي:

١- نسخ DNA إلى RNA وهو حمض نووي مختلف يملك وظيفة بيولوجية معينة على حسب نوعه RNA ناقل، ريبوسومي أو الرسول الذي يعمل كوسيط وحامل المعلومة لاصطناع البروتين.

٢- ترجمة RNA الرسول إلى بروتين.

٣- نشاط جزيئات RNA غير المشفرة والبروتينات داخل الكائنات.

مع ملاحظة أنه يمكن لنفس DNA الخاص بكائن ذو مرحلتين تطور أن يُعبر عن نفسه بشكل غير متشابه تماما (بسبب مثبطات ومحفزات مختلفة)، أفضل مثال معروف عن ذلك هو اليسروع والفرشة حيث أنهما شكليا مختلفان كثيرا.

نسخ وترجمة

النسخ عملية بيولوجية يتم فيها نسخ المعلومة الوراثية المشفرة في جين معين من تسلسلات نوكلويدات DNA الموافقة له وإنتاج جزيئات RNA مختلفة مشفرة وغير

مشفرة بواسطة إنزيمات بوليميريز RNA ، سلسلة هذه الجزيئات مماثلة في تركيبها لسلسلة DNA باستثناء احتواء وحدتها الأساسية على ريبوز بدل الريبوز منقوص الأكسجين وقاعدة اليوراسيل مكان الثايمين، تخضع جزيئات الرنا الأولية الناتجة والتي تسمى " RNA قبل الرسول" إلى تعديلات ما بعد الترجمة من تقطيع وتذييل بعدد الأدينيلات لإنتاج RNA رسول مستقر وناضج قادر على تحمل عملية الترجمة أثناء تخليق البروتين. العلاقة بين تسلسل نوكلويدات الجين والحمض الأميني محددة بقواعد الترجمة المعروفة بالشفرة الجينية، تتكون الشفرة الجينية من كلمات ذات ثلاث أحرف تسمى رموزات أو كودونات مكونة من تسلسل حروف ثلاث نوكلويدات (مثل ACT، CAG، TTT).

الترجمة هي عملية تحويل المعلومة الوراثية المحمولة في جزيء RNA الرسول الناضج المغادر للنواة إلى بروتين أوفي بعض الأحيان عدة بروتينات، حيث يتم فك شفرته بواسطة الريبوسوم الذي يقرأ تسلسلات الرنا وذلك بربط تسلسلات قواعد الرنا الرسول مع قواعد ضد الكودون لل RNA الناقل الذي يحمل معه الأحماض الأمينية، وبما أنه توجد أربع قواعد؛ في توليفة ثلاثة حروف يكون هنالك 64 كودونا ممكنا (43 توليفة) هذه التوليفات تشفر العشرين حمض أميني الأساسية، مانحة معظم الأحماض الأمينية أكثر من كودون واحد ممكن، كما توجد ثلاث رموزات توقف أو بلا معنى تشير إلى نهاية المنطقة المشفرة وهذه الرموزات هي TAA، TGA و TAG.

في عام 1961، ثبت أنه عندما يقوم الجين بتشفير البروتين، فإن ثلاث قواعد متسلسلة من الحمض النووي للجين تحدد كل حمض أميني متعاقب من البروتين. وبالتالي فإن الشفرة الوراثية هي شفرة ثلاثية، حيث يحدد كل ثلاثية (تسمى كودون) حمضاً أمينياً معيناً. علاوة على ذلك، فقد تبين أن الكودونات لا تتداخل مع بعضها البعض في تسلسل الحمض النووي الذي يشفر البروتين، وأن كل تسلسل يُقرأ من نقطة بداية ثابتة. خلال الفترة 1962-1964، ومن خلال استخدام الطفرات المميتة المشروطة للفيروس البكتيري، [19] تم إحراز تقدم أساسي في فهمنا لوظائف وتفاعلات البروتينات

المستخدمة في آلية تكرار الحمض النووي، وإصلاح الحمض النووي، وإعادة تركيب الحمض النووي، و في تجميع الهياكل الجزيئية.

ترميم DNA

ترميم DNA هو مجموعة عمليات تتعرف بها الخلية على أضرار في جزيئات DNA وتصحيحها، في الخلايا البشرية يسبب كل من نشاط الأيض وعوامل طبيعية مثل الإشعاعات أضرار DNA تقدر بحوالي ١ مليون آفة جزيئية لكل خلية كل يوم. حيث تسبب العديد من هذه الآفات ضررا هيكليا لجزيء DNA يمكن أن يغير أو يقضي على قدرة الخلية على ترجمة جيناتها المتضررة، بعض الآفات الأخرى تحدث طفرات محتملة الضرر في جينوم الخلية وهو ما يؤثر على قدرة بقاء الخلايا البنت بعد عملية الانقسام المتساوي، ونتيجة لهذا فإن نظام ترميم DNA نشط باستمرار لترميم الضرر في بنية DNA ، حين يفشل نظام الترميم ولا يحدث نظام الاستماتة الخلوي فإنه يحدث ضرر في الدنا غير قابل للترميم بما في ذلك شروخات في السلسلة المزدوجة، والارتباط التشابكي للدنا (ترابط شبكي بين السلاسل)، يمكن أن يقود هذا إلى أورام خبيثة أو إلى السرطان حسب فرضية ندسون.

معدل سرعة ترميم DNA يعتمد على عدة عوامل منها: عمر الخلية، نوعها، ومحيطها الخارجي. الخلية التي تراكمت فيها كمية كبيرة من أضرار DNA والخلية التي لا يمكنها ترميم أضرار DNA الخاص بها بفعالية يمكن أن ينتهي بها الحال إلى أحد ثلاث إمكانيات:

١. حالة متعذرة العكس من السكون تعرف بالهرم.
٢. انتحار للخلية يعرف بالاستماتة أو موت الخلية المبرمج.
٣. انقسام خلوي غير منتظم يقود إلى تشكيل ورم سرطاني.

قدرة الخلية على ترميم DNA أساسية لسلامة جينومها ومنه قيام الكائن بالوظائف بشكل طبيعي، العديد من الجينات التي ظهر في البداية أنها تؤثر على متوسط

العمر اتضح أن لها علاقة بحماية DNA وترميم أضراره. ، يوجد ثلاث أنواع من الترميم: استئصال النوكليوتيد، استئصال القاعدة وترميم DNA غير المتطابق.

الأحماض النووية خارج الخلية

يصدر معظم الحمض النووي الصبغي الخارجي المجرد (eDNA) بموت الخلية، وهو واسع الانتشار في الطبيعة حيث يبلغ تركيزه في التربة حوالي ٢ ميكروجرام/ل وتركيته في الأوساط المائية الطبيعية قد يبلغ ٨٨ ميكروجرام/ل. تم اقتراح العديد من الوظائف للـ DNA الخارجي: فقد تكون له علاقة في نقل الجينات الأفقي؛ قد يوفر مغذيات؛ وقد يعمل كمنظم لجذب أو معايرة الأيونات أو المضادات الحيوية. يعمل DNA الخارجي كعمود عبارة عن مصفوفة وظيفية خارجية في بيوفيلم العديد من الأجناس البكتيرية، كما يمكن أن يعمل كعامل تعرّف لتنظيم ارتباط وتثبيت أنواع خلايا محددة في البيوفيلم، كما يمكن أن يساهم في تكون البيوفيلم، ويمكن أن يساهم في القوة الفيزيائية للبيوفيلم ومقاومته للضغط البيولوجي.

يوجد DNA الجنيني من دون خلايا في دم الأم، ويمكن فحص تسلسله لمعرفة معلومات كثيرة حول تطور الجنين.

تفاعلات مع البروتينات

جميع وظائف DNA تعتمد على التفاعلات مع البروتينات، قد تكون هذه التفاعلات غير محددة أو يمكن للبروتين الارتباط بشكل محدد على تسلسل معين DNA ، يمكن للإنزيمات الارتباط DNA كذلك ومن بين هذه الإنزيمات البوليميرازات التي تنسخ تسلسل قواعد DNA أثناء عمليتي النسخ والتضاعف والتي تعتبر ذات أهمية كبيرة.

بروتينات مرتبطة بالدنا

البروتينات البنيوية التي ترتبط بـ DNA هي أمثلة مفهومة جدا عن التفاعلات غير المحددة للدنا مع البروتين. يوضع DNA داخل الكروموسومات في مركبات مع بروتينات بنيوية، تنظم هذه البروتينات DNA على شكل هيئة مترابطة

تدعى كروماتين، لدى حقيقيات النوى يتطلب حدوث هذه الهياكل ترابط DNA مع بروتينات صغيرة تسمى الهستونات، أما عند بدائيات النوى فيتطلب ذلك أنواعا عديدة من البروتينات. تشكل الهستونات مركب على شكل قرص يسمى جسيم نووي يحوي دورتين كاملتين لـ DNA مزدوج السلاسل ملفوف على سطحه، تشكلت هذه التفاعلات غير المحددة بسبب قيام الوحدات الأساسية في الهستونات (أحماض أمينية) بتشكيل روابط أيونية مع مجموعات الفوسفات الحمضية في الوحدة الأساسية DNA ومنه لا تعتمد هذه التفاعلات بشكل كبير على تسلسل القواعد. التغيرات الكيميائية لهذه الأحماض الأمينية تشمل المثيلة، الفسفرة والأستلة. تُغيّر هذه التغيرات الكيميائية قوة التفاعل بين DNA والهستونات، تجعل DNA أكثر أو أقل قابلية لوصول عوامل النسخ إليه وتغير معدل سرعة النسخ. بروتينات الترابط غير المحدد بالـ DNA الأخرى في الكروماتين تشمل مجموعة البروتين عالية الحركة التي ترتبط بالـ DNA لتحتويه أو تلويه. وهذه البروتينات ضرورية لطي مصفوفات من الجسيمات النووية وترتيبها في هيئة أكبر تشكل الكروموسومات.]

توجد مجموعة مميزة من البروتينات المرتبطة بالـ DNA ترتبط بشكل محدد في سلسلة واحدة من DNA ، لدى البشر بروتين التضاعف A هو أفضل عنصر مفهوم من هذه العائلة ويستخدم في عمليات يكون فيها اللولب المزدوج مفصولا، بما في ذلك تضاعف DNA ، إعادة التركيب وترميم DNA ، يبدو أن هذه البروتينات تعمل على استقرار سلسلة DNA المفردة ومنعها من تشكيل حلقة جذعية أو تحللها بواسطة النوكليوزات.

في المقابل تطورت بروتينات أخرى لترتبط بتسلسل DNA محدد، أكثر أنواع هذه البروتينات دراسة هي عوامل النسخ المختلفة، وهي بروتينات تنظم عملية النسخ حيث يرتبط كل عامل نسخ بتسلسل DNA واحد مخصص لتفعيل أو تثبيط نسخ الجينات التي يتواجد تسلسلها بالقرب من محفزاتها. تُنجز عوامل النسخ ذلك بطريقتين، أولا يمكنها الارتباط ببوليميراز الرنا المسؤول عن عملية النسخ سواء مباشرة أو عبر بروتينات وسيطة أخرى، هذا يجعل البوليميراز يتواجد على المحفز ويسمح ببدء

النسخ. ثانياً يمكن لعوامل النسخ الارتباط بالإنزيمات المعدلة للهستونات في المحفز، وهذا يغير قابلية الوصول لسلسلة DNA القالب بالنسبة للبوليميراز.

لأن مواقع الارتباط بالـ DNA هذه يمكن أن تظهر في مختلف مناطق جينوم الكائن؛ فإن تغيرات في نشاط أحد أنواع عوامل النسخ يمكن أن يؤثر على الآلاف من الجينات. ونتيجة لذلك فإن هذه البروتينات عادة أهدافاً لتوصيل الإشارة التي تتحكم بالردود اتجاه التغيرات المحيطية أو التمايز الخلوي والنمو. اختصاص تفاعلات عوامل النسخ هذه مع DNA يأتي من قيام هذه البروتينات باتصالات عديدة مع حواف قواعد الدنا، وهذا يسمح لها بقراءة تسلسل DNA.

إنزيمات معدلة DNA

النوكليازات هي إنزيمات تقوم بقص سلاسل DNA بتحفيز تحلل مائي روابط الفوسفات ثنائية الأستر. تسمى النوكليازات التي تقوم بتحلل مائي النوكليوتيدات عند نهايات سلسلتي الدنا نوكليازات خارجية وتسمى التي تقوم بالقص داخل السلاسل نوكليازات داخلية، أكثر إنزيمات النوكلياز استخدمت في علم الأحياء الجزيئي هي إنزيمات التقبيد الداخلية التي تقطع الدنا في تسلسلات محددة، على سبيل المثال: إنزيم إيكور 5 يتعرف على التسلسل السداسي 5'-GATATC-3' ويقوم بالقطع على الخط الأفقي. في الطبيعة تحمي هذه البروتينات البكتيريا من عدوى العاثيات وذلك بهضم دنا العاثية لدى دخوله خلية البكتيريا، متصرفة كجزء من نظام منع التغيرات، وفي التكنولوجيا تستخدم هذه الإنزيمات المختصة بتسلسلات معينة في التنسيل الجزيئي والبصمة الوراثية.

يمكن لإنزيمات تسمى ليجيزات DNA إعادة وصل سلاسل DNA المقطوعة أو المبتورة، وهي مهمة بشكل خاص للسلسلة المتأخرة في عملية تضاعف DNA حيث تقوم بتجميع قطع أوكازاكي القصيرة في شوكة التضاعف إلى نسخة كاملة من السلسلة DNA القالب، كما تستخدم في ترميم DNA وإعادة التركيب الجيني.

توبوايزوميراز والهليكاز

التوبوايزوميرازات هي إنزيمات تجمع نشاط كل من النوكلياز والليجاز، حيث تغير هذه البروتينات في كمية لف DNA الفائق، تعمل بعض هذه الإنزيمات على قطع لولب DNA والسماح لأحد مقاطعه بالدوران ومنه التخفيف في مستوى اللف الفائق وبعدها يقوم الإنزيم بإعادة وصل القطع، أنواع أخرى من هذه الإنزيمات يمكنها قطع إحدى سلسلتي لولب DNA ثم تمرير السلسلة الأخرى عبر ذلك القطع قبل إعادة جمع اللولب وهذه الإنزيمات مطلوبة في العديد من العمليات المتعلقة بالدنا مثل تضاعف DNA والنسخ.

الهيليكاازات هي بروتينات تعتبر كنوع من المحركات الجزيئية، حيث تستخدم الطاقة الكيميائية في النوكليوسيدات ثلاثية الفوسفات وفي الغالب أدينوسين ثلاثي الفوسفات لكسر الروابط الهيدروجينية بين القواعد وفك لولب DNA المزدوج لسلسلتين مفردتين. هذه الإنزيمات ضرورية في معظم العمليات التي تتطلب وصول الإنزيمات إلى قواعد DNA.

بوليميراز

البوليميرازات هي إنزيمات تقوم بتخليق سلاسل عديدة النوكليوتيد من نوكليوسيدات ثلاثية الفوسفات، تسلسل نواتجها يخلق اعتمادا على سلاسل عديدة النوكليوتيد موجودة مسبقا تسمى السلاسل القالب، تعمل هذه الإنزيمات بإضافة نوكليوتيد بشكل مستمر لمجموعة هيدروكسيل النهاية ٣' لسلسلة عديد نوكليوتيد متنامية، وكنتيجة لذلك تعمل البوليميرازات في الاتجاه ٥' إلى ٣'. في الموقع النشط لهذه الإنزيمات تترابط قاعديا النوكليوسيدات ثلاثية الفوسفات القادمة مع السلسلة القالب: وهذا يسمح للبوليميرازات بتخليق سلسلة مكملة لسلسلة القالب بشكل دقيق. تصنف البوليميرازات حسب نوع السلسلة القالب التي يستخدمونها.

في عملية تضاعف DNA تقوم بوليميرازات الدنا المتعلقة بالدنا بعمل نسخ لسلاسل الدنا عديدة النوكليوتيد. للحفاظ على المعلومة البيولوجية؛ أمر جوهري أن يتم نسخ تسلسل القواعد في كل نسخة بشكل دقيق ومكمل لقواعد السلسلة القالب. لدى العديد من

بوليميرازات DNA نشاط التصحيح حيث تتعرف على الأخطاء التي تقع أحيانا في تفاعلات التخليق بواسطة عدم وجود ترابط قاعدي بين النوكليوتيدات غير المتكاملة. إن تم اكتشاف عدم تكامل يُنشط إنزيم نوكلياز خارجي ٣ إلى ٥ وتتم إزالة القاعدة. يُنشط البوليميراز لدى معظم الكائنات في مركبات كبيرة تسمى ليسوليسومات والتي تحتوي على العديد من المركبات الإنزيمية الفرعية مثل رابط الدنا والهليكاز.

بوليميرازات DNA المتعلقة بال RNA هي قسم خاص من البوليميرازات التي تقوم بنسخ تسلسل سلسلة RNA في الدنا، حيث تشمل إنزيم النسخ العكسي وهو إنزيم شائع له علاقة بإصابة الخلايا بالفيروسات الراجعة، إنزيم التيلوميراز الضروري لتضاعف القسيمات الطرفية. على سبيل المثال إنزيم النسخ العكسي لفيروس العوز المناعي البشري هو إنزيم لتضاعف فيروس الإيدز. التيلوميراز هو بوليميراز غير اعتيادي لأنه يحوي سلسلة RNA القالب خاصته كجزء من بنيته، ويقوم بتصنيع القسيمات الطرفية في نهايات الصبغيات حيث تمنع القسيمات الطرفية نهايات الصبغيات من الاندماج مع نهايات الصبغيات المجاورة وتحميها من التضرر كذلك.

تتم عملية النسخ بواسطة بوليميرازات RNA - المتعلقة بال DNA - حيث تقوم بنسخ تسلسل سلسلة DNA إلى RNA. للبدء في عملية نسخ جين يرتبط بوليميراز RNA بتسلسل DNA محدد يسمى المحفز وبعدها يقوم بنسخ تسلسل الجين لإنتاج RNA رسول حتى يصل منطقة تسمى المنهي حيث يتوقف وينفصل عن DNA. كما هو الحال بالنسبة لبوليميرازات DNA المتعلقة بال DNA ؛ يعمل إنزيم بوليميراز RNA ٢ الذي ينسخ معظم الجينات في الجينوم البشري في مركبات إنزيمية كبيرة تحوي العديد من الوحدات الثانوية التنظيمية والملحقة.

تطور المعلومة الوراثية

الطفرة هي تغيير دائم في تسلسل نوكليو تيدات جينوم كائن حي، فيروس، DNA غير صبغي أو أي عناصر جينية أخرى، وتنتج الطفرات من أخطاء أثناء عملية تضاعف

DNA أو أي أنواع أخرى من تضررات DNA مثل التعرض للأشعة أو المسرطنات، والتي تخضع لعملية تصحيح مِيّالة للخطأ خاصة (وصل النهاية الميكرو تناظري المتوسط أو أي خطأ في أنواع أخرى من التصحيح، كما يمكن أن تنتج الطفرات من إدخال أو حذف قطع DNA بسبب عناصر وراثية متحركة. قد وقد لا تُحدث الطفرات تغييرات قابلة للتمييز في الخصائص المرئية (النمط الظاهري) للكائن وتلعب الطفرات دوراً في كل العمليات البيولوجية الطبيعية وغير الطبيعية: السرطان، التطور وتطور الجهاز المناعي. يمكن للطفرات التسبب بأنواع مختلفة من التغيير في التسلسل، والطفرات في الجين إما أن لا يكون لها تأثير أو أن تُغيّر ناتج الجين أو تمنع الجين من النشاط كما ينبغي أو بشكل كامل، يمكن للطفرات الحدوث في مناطق غير جينية، تقترح إحدى الدراسات المتعلقة بالتغيرات الجينية بين مختلف أجناس الدروسوفيلاً أنه إن غيرت الطفرة بروتينا يُنتج من الجين فإن النتيجة تكون على الأرجح ضارة مع تقدير ٧٠% من تعددات الأشكال بسبب الحمض الأميني لها آثار ضارة والباقي يكون إما حيادي التأثير أو له فائدة هامشية. بسبب التأثيرات الضارة التي يمكن أن تلحقها الطفرات بالجينات؛ يوجد لدى الكائنات آليات مثل ترميم DNA لمنع أو تصحيح الطفرات بإعادة التسلسل المطفّر إلى حالته الأصلية.

إعادة التركيب الجيني (التأشيب)

في العادة لا يتفاعل لولب DNA مع قطع أخرى من DNA ، وفي الخلايا البشرية تشغل الكروموسومات مناطق منفصلة في النواة تسمى مناطق الكروموسوم. هذا الفصل الفيزيائي لمختلف الكروموسومات مهم لقدرة DNA على العمل كمستودع للمعلومات، من المرات القليلة التي تتفاعل فيها الكروموسومات فيما بينها هي في التعابر الكروموسومي الذي يحدث أثناء التكاثر الجنسي والذي يحدث فيه التأشيب الجيني. التعابر الجيني هو انفكاك كروموسومين وتبادل قطعة دنا بينهما ثم إعادة تشكيلهما.

يسمح إعادة التركيب الجيني للكروموسومات بتبادل المعلومات الجينية وإنتاج توليفات جديدة من الجينات، والتي تزيد فعالية الاصطفاء الطبيعي ويمكن أن تكون مهمة لسرعة تطور بروتينات جديدة. يمكن أن يكون لإعادة التركيب الجيني علاقة بترميم DNA خاصة في رد الخلايا على شروخ السلاسل المزدوجة.

أكثر أنواع التعابر الكروموسومي شيوعا هو إعادة التركيب المتماثل حيث يتشارك فيه كروموسومان تسلسلات مماثلة جدا، أما إعادة التركيب غير المتماثل فيمكن أن يكون مضرا بالخلايا كما يمكن أن يُنتج انتقالات كروموسومية وتشوهات كروموسومية. تُحفز عملية إعادة التركيب بواسطة إنزيمات تسمى ريكومبيناز مثل RAD51. أول خطوة في إعادة التركيب هو تقطع السلسلة المزدوجة إما بواسطة نوكلياز داخلي أو ضرر في الدنا، بعدها يحفز الريكومبيناز سلسلة من الخطوات تقود إلى تجميع لولبي DNA بواسطة موصل هوليداي واحد على الأقل والتي يتم فيها تثبيت قطعة من كل سلسلة مفردة لكلا اللولبين في السلسلة المكملة للولب الآخر. موصل هوليداي بنية رباعية يمكنها التحرك على طول زوج الكروموسومات مُبدلة إحدى السلسلتين بالأخرى، بعدها تُوقف عملية التأسيس بفصل الموصل وإعادة تركيب الدنا المنفصل السلاسل المتماثلة في القطبية وحدها من يتبادل DNA فيما بينها أثناء إعادة التركيب، هناك نوعان من القص: قص شرق-غرب وقص شمال-جنوب، يشمل القص شمال-جنوب كلا السلسلتين ويقطعهما في حين أن قص شرق-غرب يبقى إحدى السلسلتين سليمة. تُشكّل موصل هوليداي أثناء التأسيس يسمح بالتنوع الجيني، تبادل الجينات في الكروموسومات، والتعبير عن الجينومات الفيروسية المتنوعة.

عناصر وراثية متحركة

المعلومة الجينية المشفرة في DNA ليست ثابتة عبر الزمن وبعض التسلسلات عرضة للانتقال من مكان إلى آخر في الجينوم، وهذه التسلسلات هي العناصر الوراثية المتحركة. وهي عبارة عن مطفرات يمكنها تغيير جينوم الخلايا ونجد من بينها خاصة المتحولات والمتحولات الراجعة، تعمل هذه الأخيرة -عكس الأولى-

عبر رنا وسيط مُنتَجَةٌ تسلسل DNA بواسطة عملية النسخ العكسي. تتحرك هذه العناصر داخل الجينوم تحت تأثير الترانسبوزازات وهي إنزيمات خاصة تفصل هذه العناصر من جهة وتربطها في جهة أخرى من الجينوم، وهي مسؤولة عن انتقال ما لا يقل عن ٤٠% من الجينوم البشري خلال تطور الإنسان العاقل.

تشكل هذه العناصر القابلة للنقل لنسبة مهمة من الجينوم لدى الكائنات الحية، خاصة لدى النبات حيث تمثل فيه النسبة الأكبر من الحمض النووي، فمثلا لدى الذرة ٤٩-٧٨% من جينومه عبارة عن المتحولات راجعة، جينوم القمح ٩٠% منه عبارة عن تسلسلات متكررة و٦٨% منه عناصر متحركة، لدى الثدييات نصف الجينوم تقريبا (٤٥-٤٨%) عبارة عن عناصر متحركة أو بقايا عناصر متحركة، وحوالي ٤٢% من الجينوم البشري مكون من الينقولات الراجعة في حين أن ٢-٣% منه عبارة عن ينقولات دنا. ومنه فهي عناصر مهمة لعمل وتطور جينوم الكائنات الحية.

الإنترونات التي تصنف إلى مجموعة I ومجموعة II هي نوع آخر من العناصر الوراثية المتحركة وهي عبارة عن ريبوزيمات أي تسلسلات رنا تملك قدرة التحفيز مثل الإنزيمات وقادرة على تحفيز وصلها ذاتيا. إنترونات المجموعة I تحتاج نوكليوتيديات جوانين لكي تعمل على عكس إنترونات المجموعة الثانية. توجد على سبيل المثال إنترونات المجموعة I بصورة فردية لدى البكتيريا وبعدها أكبر قليلا لدى حقيقيات النوى البسيطة وبأعداد كبيرة جدا لدى النباتات الوعائية. كما نجدها لدى عدد كبير من عاثيات البكتيريا موجبة الجرام، ولدى القليل من العاثيات سالبة الجرام مثل العاثية T4.

النقل الأفقي للجينات

يمكن لمعلومة الخلية الوراثية التطور تحت تأثير دمج وإضافة مادة وراثية خارجية مُمتصة عبر الغشاء الخلوي ويسمى ذلك النقل الأفقي للجينات، وهو عكس النقل العمودي الناتج من تكاثر الكائنات الحية ويتم بين وحيدات الخلية و متعددات الخلية، وهو عامل أساسي في تطور العديد من الكائنات. النقل الأفقي للجينات هو الآلية

الأساسية في انتشار مقاومة المضادات الحيوية لدى البكتيريا ويلعب دورا مهما في تطور البكتيريا التي يمكنها تحليل المركبات الصناعية الجديدة التي يصنعها الإنسان مثل المبيدات الحشرية، وتطور وصيانة وانتقال حدة الجرثوم وغالبا ما يتعلق ذلك بالعائيات والبلازميدات. يمكن أن تنتقل الجينات المسؤولة عن مقاومة المضادات الحيوية لدى إحدى أنواع البكتيريا إلى أنواع أخرى عبر عدة آليات منها pilus-F أو الشعرة الإخصابية مانحة إياها مقاومة لهذه المضادات وهو أمر طبي صار التعامل معه عسيرا، ويفترض كذلك أن النقل الأفقي للجينات يعزز المحافظة على حياة كيموحيوية شاملة، وكنتيجة لذلك على شمولية الشيفرة الجينية.

تُرَكِّز معظم الاهتمام والبحث في علم الوراثة على النقل العمودي، لكن بدأت أهمية النقل الأفقي للجينات بين وحيدات الخلية تلقى الاهتمام. يمكن اعتبار توصيل الجين كنقل أفقي للجينات وهو نوع من الهندسة الوراثية.

تطور

يحتوي DNA على المعلومة الوراثية التي تسمح لكل الكائنات الحية المعاصرة بالتكاثر والنمو والقيام بمختلف الوظائف، لكن من غير الواضح منذ متى في تاريخ الحياة الممتد إلى 4 مليارات سنة كان DNA يقوم بهذه الوظيفة، وقد اقترح أن أشكال الحياة الأولى من الممكن أن تكون استعملت RNA كمادتها الوراثية. يمكن أن يكون RNA قد لعب دورا رئيسيا في أيض الخلايا الأولية حيث يمكنه القيام بكل من نقل المعلومة الوراثية وبدأ تحفيزات التفاعلات لكونه جزءا من الريبوزيم، يمكن لعالم RNA القديم هذا الذي كانت تستخدم فيه الأحماض النووية لكل من التحفيز والوراثة أن يكون أثر على تطور الشفرة الجينية الحالية التي أساسها أربع قواعد نووية، وهذا سيحدث لأن رقم مختلف القواعد في كائن بتلك الصفة عبارة عن توافق بين رقم صغير من القواعد يزيد في دقة النسخ ورقم كبير من القواعد يزيد في فعالية التحفيز لدى

الريبوزيمات. بيد أنه لا يوجد دليل مباشر على الأنظمة الجينية القديمة لأن استخلاص DNA من المستحاثات مستحيل لكون DNA يعيش في الطبيعة لأقل من مليون سنة، ثم يتحلل تدريجياً إلى قطع صغيرة في المحاليل. هنالك ادعاءات بوجود DNA أقدم من ذلك وخاصة التقرير الذي يتحدث عن استخلاص بكتيريا حية من بلورة ملح عمرها ٢٥٠ مليون سنة، لكن هذه الادعاءات مثيرة للجدل وغير متفق عليها.

يمكن أن تكون مكونات DNA (الأدينين، الجوانين وما يتعلق بها من مركبات عضوية) قد تشكلت خارج الأرض في الفضاء الخارجي. مكونات مركبات DNA و RNA بما في ذلك اليوراسيل، السايروسين والثايمين تم تشكيلها كذلك في المخابر تحت ظروف تماثل تلك الموجودة في الفضاء الخارجي باستخدام تفاعلات بدء كيميائية مثل البيريميدينات التي عثر عليها في الأحجار النيزكية، يمكن للبيريميدينات مثل الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات -أغنى مركب كيميائي بالكربون وجد في الكون- أن يكون تشكل في عملاق أحمر أو في غبار كوني وسحب غاز بين النجوم.

استخدامات في التكنولوجيا

هندسة وراثية

تم تطوير طرق عديدة لاستخلاص DNA من الكائنات الحية مثل طريقة استخلاص فينول-كلوروفورم وطرق لمعالجته وتعديله في المختبر مثل طريقي اهتضام التقييد وتفاعل البوليميراز المتسلسل. يستخدم علماء الأحياء والكيمياء الحيوية الحديثين هذه الطرق بشكل كبير في تكنولوجيا DNA المؤشب، DNA المؤشب هو تسلسل DNA من صنع الإنسان تم تجميعه من تسلسلات DNA أخرى، حيث يمكن نقله إلى كائنات مختلفة على شكل بلازميدات أو على الشكل المناسب باستخدام ناقل فيروسي. الكائنات المعدلة وراثياً المنتجة يمكن استخدامها لإنتاج منتجات مثل البروتينات المؤشبة المستخدمة في البحث الطبي أو لزرعها وتحسين منتجات الزراعة، تم تعديل

نباتاتٍ لحمايتها من الحشرات وجعل مقاومتها أكبر ضد مبيدات الحشرات، الفيروسات والضغوط الطبيعية وتحسين قيمتها الغذائية ولإنتاج اللقاحات الصالحة للأكل. معظم الكائنات المعدلة وراثيا المروج لها هي إما محاصيل نباتات مقاومة للحشرات أو للمبيدات. يتم استخدام الحيوانات المعدلة جينيا في البحوث أو لتحسين نماذجها أو لإنتاج منتجات زراعية وصيدلية. وتشمل هذه التعديلات إزالة جينات لجعلها أقل عرضة للمرض، وزيادة الهرمونات لنمو أكبر وللقدرة على توفير البروتينات في الحليب.

إنزيمات DNA أو DNA محفز

الريبوزيمات منزوعة الأكسجين وتسمى كذلك إنزيمات DNA أو DNA المُحَفِّز اكتُشِفَت أول مرة سنة ١٩٩٤. وهي في الغالب تسلسل DNA منفرد معزول من كمية كبيرة من تسلسلات DNA عشوائية عبر عملية توليفية تسمى اختيار في المختبر أو تطور منظومي للربائط بواسطة الاغناء المطرد (SELEX). تحفز إنزيمات DNA مختلف التفاعلات الكيميائية بما في ذلك قص مركبات DNA-رنا، ربط مركبات DNA-رنا، فسفرة ونزع فوسفات الأحماض الأمينية، تشكيل روابط كاربون-كربون... إلخ. يمكن لإنزيمات الدنا تحسين معدل تحفيز العمليات الكيميائية إلى ١٠٠ مرة العملية غير المحفزة. أكثر أصناف إنزيمات DNA المدروسة دراسة وافية هي الأنواع القاصّة للرنا والتي تستخدم لكشف مختلف الأيونات الفلزية وتصميم عوامل علاجية. تم تقرير العديد من إنزيمات الدنا المختصة بالفلزات منها: إنزيم DNA GR-5 (المختص بالرصاص)، إنزيمات DNA CA1-3 (المختصة بالنحاس)، إنزيم الدنا E٣٩ (المختص باليورانيول) وإنزيم الدنا NaA43 (المختص بالصوديوم).¹ إنزيم DNA NaA43 الذي أشير إلى أنه يختار أيونات الصوديوم ١٠,٠٠٠ مرة عن الأيونات الفلزية الأخرى، استُخدم لإنشاء مستشعرات صوديوم حقيقية في خلايا حية.

علم الأدلة الجنائية وبصمة وراثية

يمكن لعلماء الأدلة الجنائية استخدام DNA الموجود في الدم، المنى، الجلد، اللعاب والشعر المعثور عليه في مسرح الجريمة لتحديد دنا مطابق لفرد ما، كالجاني مثلا، ويطلق على هذه العملية البصمة الوراثية. يُقارن في البصمة الوراثية تسلسل أطوال مختلفة متكررة من DNA مثل التكرارات المترادفة القصيرة وDNA microsatellite بين الناس. هذه الطريقة في العادة موثوق بها جدا لتحديد DNA متطابق، لكن يمكن أن يكون التحديد معقدا إذا كان المسرح ملوثا ب DNA من عدة أشخاص. تم ابتكار تقنية البصمة الوراثية سنة ١٩٨٤ بواسطة عالم الوراثة البريطاني أليك جيفريز، واستخدمت أول مرة في علم الأدلة الجنائي لإدانة كولين بيتشفورك سنة ١٩٨٨ في قضية قتيلاي إندربي.

تُستخدم البصمة الوراثية كذلك في اختبار الأبوة بالدنا لتحديد إن كان أحدهم الوالد أو الجد البيولوجي للطفل مع احتمال تطابق تصل نسبته إلى ٩٩,٩٩% حين يكون الوالد المفترض قريبا بيولوجيا للطفل. وتُستخدم لذلك طرق كشف التسلسل العادية بعد الولادة، في حين تستخدم طرق جديدة لاختبار الأبوة حين تكون الأم مازالت حاملا.

المعلوماتية الحيوية

تتضمن المعلوماتية الحيوية تطوير تقنيات لتخزين وتنقيب وبحث ومعالجة البيانات البيولوجية بما في ذلك بيانات تسلسل الأحماض النووية، وقاد ذلك إلى تطورات مستخدمة بشكل واسع في علم الحاسوب خاصة في خوارزميات البحث التسلسلية، تعلم الآلة ونظرية قواعد البيانات، تم تطوير البحث التسلسلي أو خوارزميات التطابق التي تعثر على وجود تسلسل حروف معين داخل تسلسل حروف أكبر خصيصا للبحث عن تسلسلات نوكلوتيدات معينة.

يمكن أن يتم صف تسلسل DNA مع تسلسل DNA آخر لتحديد التسلسلات المتماثلة وتعيين مواضع الطفرات التي تجعلها مختلفين، تُستخدم هذه التقنيات وخاصة تقنية ترانسكريبوم التسلسلات المتعدد في دراسة العلاقات في علم الوراثة العرقي ووظيفة البروتين. مجموعات البيانات التي تمثل تسلسلات جينومات كاملة مثل تلك الناتجة عن مشروع الجينوم البشري يصعب استخدامها من دون نوتة شرح لتحديد أماكن الجينات والعناصر المنظمة في كل كروموسوم، مناطق DNA التي لديها الخصائص النمطية المتعلقة بجينات البروتين -أو RNA- يمكن تحديدها بخوارزميات البحث عن الجين، وهو ما يسمح للباحثين بتوقع وجود نواتج جينية معينة ووظائفها المحتملة في الكائنات قبل حتى استخلاصها تجريبياً ودراستها. كما يمكن مقارنة جينومات بأكملها وهو ما يسمح بتسليط الضوء على تاريخ تطور بعض الكائنات وفحص أحداث تطورية معقدة.

التقنية النانوية للدنا

تستخدم تقنيات DNA النانوية خصائص التعرف الجزيئي الفريدة للDNA والأحماض النووية الأخرى لإنشاء مركبات DNA متفرعة ذاتية التجميع لها خصائص مفيدة، ومنه فإن DNA يُستخدم كمادة هيكلية بدلا من أن يُستخدم كحامل للمعلومة البيولوجية، وقاد هذا إلى إنشاء شبكات دورية ثنائية الأبعاد باستخدام طريقة التجميع بالوحدات الأساسية (tile-based) وكذلك طريقة أوريجامي DNA وإنشاء هياكل ثلاثية الأبعاد على شكل متعدد سطوح. كما تم إنجاز أدوات نانومترية وخوارزمية التجميع الذاتي. وتم استخدام هياكل DNA هذه كقالب تُرْتَبُ فيه جزيئات أخرى مثل الجسيمات النانوية من الذهب وبروتينات الستربتافيدين وهي بروتينات تشكل مركبات مع البيوتين.

علم الوراثة العرقي وعلم الأنساب الجيني

لأن الطفرات تتراكم في DNA مع مرور الوقت وبعدها يتم توريثها للأجيال التالية، فإن DNA يحتوي على معلومات تاريخية وبمقارنة تسلسلات DNA المختلفة يمكن

لعلماء الوراثة استنتاج التاريخ التطوري للكائنات وهذا ما يعرف بعلم الوراثة العرقي. يشكل هذا المجال -بوضع علم الوراثة في خدمة علم أحياء الحفريات- أداة قوية في علم الأحياء التطوري، إذا تمت مقارنة سلاسل DNA داخل نفس النوع يمكن لعلماء الوراثة السكانية معرفة تاريخ شعوب معينة، ويمكن استخدام ذلك في دراسات تترواح بين علم الوراثة البيئي إلى الأنثروبولوجيا.

تُستخدم دراسة DNA الميتوكوندريا داخل التجمعات البشرية لتحديد هجرات الإنسان العاقل، على سبيل المثال تمت دراسة النمط الجماعي X في علم الديموجرافيا القديمة لتقييم القرابة المحتملة لأسلاف الهنود بالشعوب الأوربية التي تعود أصولها إلى العصر الحجري القديم العلوي. شجرة تطور السلالات توضح نطاقات الأحياء الثلاثة: حقيقيات النوى بالأحمر، العتائق بالأخضر والبكتيريا بالأزرق.

تخزين المعلومات

يُستخدَم DNA بواسطة الكائنات الحية لتخزين معلوماتهم الوراثة ولهذا تقوم مجموعات من الباحثين بدراسته كوسيلة تخزين للبيانات الرقمية تماما مثل وسائط التخزين الحاسوبية وذلك لأن لدى الأحماض النووية كثافة تخزين نظرية تفوق بشكل كبير وسائل التخزين التقليدية وتملك عمرا فتراضيا أكبر بكثير كذلك.

نظريا يمكن تشفير حتى ٢ بت من المعلومات في كل نوكلوتيد وهذا يسمح بقدرة تخزين تصل إلى ٤٥٥ مليون تيرابايت لكل غرام واحد من DNA منفرد السلسلة، حيث تبقى صالحة للقراءة لعدة ألياف حتى في ظروف تخزين غير مثالية، تم اقتراح تقنية تخزين تصل إلى ٢١٥ ألف تيرابايت لكل غرام من DNA سنة ٢٠١٧ بالمقارنة مع سعة قرص دي في دي بوجهي تخزين ذو طبقتين والتي بالكاد تصل ١٧ جيجابايت لوزن نموذجي يصل ١٦ ج نجد أن قدرته على التخزين أقل ٤٠٠ مليار مرة لكل غرام. قامت مجموعة باحثين من معهد المعلوماتية الحيوية الأوروبي سنة ٢٠١٢ بتشفير ٧٥٧ كيلوبايت من البيانات في 17 940 195 نوكلوتيدة وهو ما يعادل كثافة تخزين تصل حوالي ٢٢٠٠ تيرابايت لكل غرام من الدنا. ومن جانبه؛ نشر فريق

سويسري في فبراير ٢٠١٥ دراسة توضح متانة DNA المغلف بالسيليكا كداعم مستدام للمعلومة.

من جانب آخر تعمل فرق أخرى على إمكانية تخزين المعلومات مباشرة في الخلايا الحية، لغايات مختلفة على سبيل المثال لتشفير عدّادات في DNA الخلية لتحديد عدد الانقسامات أو التمايزات وهو أمر يسمح بإيجاد تطبيقات له في مجال البحوث حول السرطان والشيخوخة.

تاريخ البحث في الدنا

تم استخلاص DNA لأول مرة سنة ١٨٦٩ بواسطة العالم السويسري فريدريك ميسر الذي اكتشف مادة مجهرية في قيق على ضمادة جراحية مستعملة، ولأن مكانها كان في نواة الخلية فقد أسماها "نوكليين". وفي سنة ١٨٧٨ استخلص ألبرشت كوسل مكون غير بروتيني للنوكليين، وحمضا نوويا وتمكن لاحقا من استخلاص قواعد النووية الخمس الأساسية، وفي ١٩١٩ قام فيبوس ليفين بتعريف قاعدة وسكر وفوسفات وحدة النوكليوتيد واقترح أن DNA يتكون من سلسلة من وحدات النوكليوتيد مترابطة مع بعضها بواسطة مجموعات فوسفات، ولكن اعتقد أن السلسلة مكونة من تكرار قواعد قصير له ترتيب ثابت. في ١٩٢٧ اقترح نيكولاي كولتسوف أن الصفات الوراثية يتم توارثها عبر "جزيء وراثي عملاق مكون من سلسلتين متناظرتين يقوم بالتضاعف بطريقة نصف محافظة باستخدام كل سلسلة كقالب سنة ١٩٢٨ اكتشف فريدريك غريفيث في تجربته أن صفات "النعومة" لدى المكورات الرئوية يمكن أن تتحول إلى "خشنة" من نفس البكتيريا وذلك بخلط البكتيريا الناعمة الميتة مع الحية الخشنة. منح هذا النظام أول اقتراح واضح بأن DNA يحمل المعلومة الوراثية.

وفي سنة ١٩٣٣ اقترح جان براشيه - بينما كان يدرس بيوض قنفذ البحر - أن DNA يتواجد في نواة الخلية وأن الرنا يتواجد حصريا في السيتوبلازم. اعتُقد في ذلك الوقت أن "حمض الخميرة النووي RNA لا يظهر سوى عند النباتات وأن حمض الغدة

الزعترية النووي DNA لا يظهر سوى عند الحيوانات، وأن هذا الأخير عبارة عن جزيء رباعي له وظيفة تنظيم الأس الهيدروجيني (PH) الخلوي. وفي ١٩٣٧ أنتج وليام أستبري أول نمط حيود للأشعة السينية أظهر أن DNA بنية منتظمة. في سنة ١٩٤٣ حدد أوزوالد أفري مع زميليه كولين ماكلويد وماكلين ماكرتي أن DNA هو أساس التحول، داعمين مقترح غريفت (تجربة أيفري-ماكلويد-ماكرتي)، تم تأكيد دور DNA في الوراثة سنة ١٩٥٢ بواسطة ألفرد هيرشي ومارثا تشايس في تجربة هيرشي-تشايس التي أوضحت أن DNA هو المادة الوراثية للعائية T2.

في نهاية ١٩٥١ بدأ فرنسيس كريك بالعمل مع جيمس واتسون في مختبر كافندش داخل جامعة كامبريدج وفي ١٩٥٣ اقترحا ما هو الآن مقبول كأول بنية لولب مزدوج صحيحة للدنا في مجلة نيتشر. نموذج لولبهما المزدوج كان معتمدا على صورة حيود أشعة إكس (سميت الصورة ٥١) أخذت بواسطة روزاليند فرانكلين وريموند غوسلين في ماي ١٩٥٢ ومعتمدا كذلك على معلومة أن قواعد الدنا مترابطة زوجيا، في ٢٨ فبراير ١٩٥٣ قاطع كريك وقت غذاء مموله في حانة إيجل ليعلن أنه بمعية واتسون اكتشفا سر الحياة.

بشهور قبل ذلك -في فبراير ١٩٥٣- اقترح كوري نموذجا لل DNA يحتوي ثلاث سلاسل لولبية، مع كون مجموعات الفوسفات متجهة للداخل والقواعد للخارج. تم نشر دليل تجريبي يدعم نموذج كريك وواتسون ، كذلك وجود لولب مزدوج كبنية لل DNA تماما مثل ما اقترح كريك وواتسون حصل واتسون وكريك وويلكنز جماعيا على جائزة نوبل في الطب أو علم وظائف الأعضاء، جائزة نوبل لا تمنح سوى للأحياء ولهذا مازال هنالك جدال حول من يستحق فضل هذا الاكتشاف.

نشر كريك سنة ١٩٥٧ وثيقة يوضح فيها ما يعرف حاليا بهدف علم الأحياء الجزيئي الرئيسي والذي وضح العلاقة بين DNA و RNA والبروتينات وطرح "نظرية الموصّل" وجاء آخر تأكيد على آلية التضاعف التي طرحت نتيجة هيئة اللولب المزدوج عبر تجربة ميسلسون-ستال سنة ١٩٥٨. وأوضحت أعمال أخرى لكريك

وزملائه أن الشيفرة الجينية مبنية على أساس قواعد ثلاثية غير متداخلة تسمى الرامزات أو الكودونات وهو ما سمح لهار غوبند خورانا وروبرت هوللي ومارشال نيرنبرغ بفك شيفرة الشيفرة الجينية، وتمثل هذه الاكتشافات ميلاد علم الأحياء الجزيئي.



مقدمة في علم الأجنة

مقدمة

تدل أقدم السجلات المكتوبة الي وقتنا هذا علي أن المسائل المتعلقة بتكوين الحيوان وخلق الانسان هي احدي المهام الرئيسية التي شغلت الانسان. وقول الله تعالي (فلينظر الانسان مما خلق) دعوة من الخالق سبحانه وتعالى للمخلوق للتأمل والتفكر والبحث والتنقيب عن كيفية نشأته ومراحل تكوينه التي يمر بها منذ ان كان جنينا حتي صار انسانا كاملا متكامل.

لم تعرف خطوات التكوين الجنيني إلا في الآونة الأخيرة بعد اختراع المجهر وتقدم العلم. وقبل كل هذه الاجهزة والتقنيات والابحاث، وصف الله سبحانه وتعالى لنا في كتابه العزيز علي يد رسوله الكريم منذ ما يزيد علي الف عام مراحل التكوين بادق الاوصاف وذكر لنا كل المصطلحات العلمية وكل الخطوات التي شرحها لنا علماء الأجنة حديثا.

ويهدف هذا المقرر إلى تعريف الطالب بالمراحل الجنينية لطوائف الحبليات المختلفة، وهو ما يسمى بعلم الأجنة الوصفي، ابتداءً بالحبليات الأولية كالسهم وحتى الطوائف الأكثر تطوراً كالثدييات والإنسان. حيث يشمل المقرر علي الموضوعات العامة في علم الاجنة كتاريخه، انواعه وأهمية دراسة علم الأجنة. ثم وصف الخلايا التناسلية (الحيوانات المنوية والبويضات) ومراحل تكوينها والتي تبدأ منها التطورات الجنينية. يلي ذلك شرح التطور الجنيني لحيوان السهم وهو من أشهر النماذج لدراسة التطور الجنيني وذلك لبساطة تطوره الجنيني مما يجعله أكثر قابلية للدراسة والمتابعة. كذلك يهدف المقرر إلى تعريف الطالب بعلم الأجنة التجريبي وأهم تطبيقاته الحديثة ومنها الخلايا الجذعية وانواعها – الاستنساخ وانواعه - التلقيح الاصطناعي

واطفال الأنابيب (IVF). كذلك معرفة أنواع التشوهات الخلقية واسبابها - تعدد المواليد - التوائم وانواعها.

علم الأجنة Embryology

علم الأجنة هو العلم الذي يبحث في دراسة مراحل النمو والتكوين والتميز التي تتم في الكائنات الحية منذ البداية (الخلية الأولى أو الزيجوت) إلى أن تصبح حيوانات كاملة التكوين معقدة التركيب شبيهة بأبويها، ناضجة تماماً ومعتمدة في حياتها اعتماداً كلياً على نفسها.

ولقد جرى العرف على أن تقتصر الدراسة في علم الأجنة على مراحل ما قبل التحور بالنسبة للبرمائيات أي من الزيجوت إلى أن يتم تكوين أبو ذنبية ومراحل نمو جنين الطيور داخل البيضة إلى ما قبل الفقس وكذلك مراحل ما قبل الولادة بالنسبة للحيوانات الثديية. إلا أن بعض الباحثين يعتبر علم الأجنة هو دراسة دورة حياة الفرد من الإخصاب حتى النضج الجنسي فالموت وأن التحور والفقس والولادة ما هي إلا علامات تشير إلى انتهاء مرحلة من مراحل النمو وبداية مرحلة أخرى في سلسلة متصلة من التطورات في حياة الفرد.

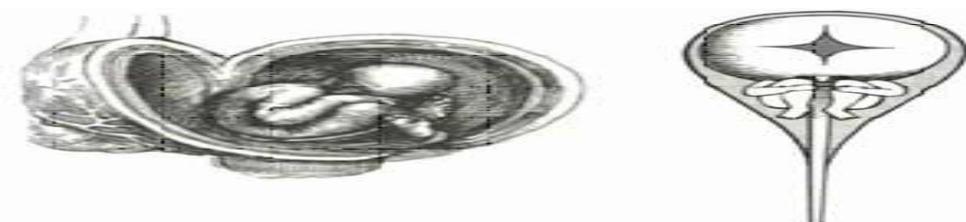
نبذة تاريخية عن علم الاجنة

نظريات التكوين الجنيني

١- نظرية التكوين المسبق Pre-formation theory

تفترض هذه النظرية بأن البويضة تحتوي علي صورة مصغرة من الحيوان اليافع (قزم) ، وأن التكوين عبارة عن نمو واستطالة هذا المخلوق المصغر الي الحيوان اليافع ومن روادها العالم مارسيلو مالبيجي Marcello Malpighi (١٦٢٨ - ١٦٩٤). وعندما اكتشف انتوني فان ليفنهوك Antony van leeuvenhook (١٦٣٢ - ١٧٢٣) الحيوان المنوي في الانسان، وهو الذي اطلق عليه اسم حوين (Animalcule)

(، وظهر سؤال جديد هل البويضة التي تحتوي علي ذلك القزم أم الحيوان المنوي.
شكل (١).



شكل ١: نظرية التكوين المسبق وتفترض وجود جنين دقيق داخل الحيوان المنوي

٢- نظرية التكوين التدريجي أو التراكمي Epigenesis theory

وصف الفيلسوف ارسطو (٣٨٤- ٣٢٢ قبل الميلاد) التكاثر والتكوين في بعض انواع الحيوانات علي اساس ان التكوين يبدأ من بدائيات بسيطة عديمة الشكل الي نظام معقد في الفرد البالغ. ثم جاء بعد ذلك العالم وولف Walff (١٧٣٣- ١٧٩٤) وشاهد في بيض الدجاج ان الاعضاء تتكون واحدا بعد الاخر، وانه لا يوجد فيها شكل مصغر مكون من قبل يشبه الدجاجة. لذلك تم رفض نظرية قبل التكوين واكدت نظرية التكوين التدريجي.

وفي عام ١٦٧٢م استخدم العالم دي جراف (De graff) المجهر البسيط حيث رأى حويصلات صغيرة في رحم الأرنب وقال بأن هذه الحويصلات تأتي من المبيض ، ثم درس قطاعات من مبايض الحيوانات المختلفة واثبت بأن المبايض هي التي تنتج البويضات.

٣- نظرية الطبقات الجرثومية Germ layer theory

بذل كارل ارنست فون بير (Karl Ernst von Baer) (١٧٩٢- ١٨٧٦) كل جهوده في بحوث علم الأجنة ومن ابرزها نظرية الطبقات الجرثومية حيث حيث تتكون التراكيب المختلفة للجسم من الطبقات الجرثومية.

ويمكن تقسيم علم الأجنة الي ثلاث مراحل هي:

١- المرحلة الوصفية (علم الأجنة الوصفي): تبدأ من أكثر من ستة قرون قبل الميلاد وتستمر حتى القرن التاسع عشر.

٢- المرحلة التجريبية (علم الأجنة التجريبي): نهاية القرن التاسع عشر وحتى الأربعينيات من القرن العشرين.

٣- مرحلة التقنية واستخدام الأجهزة: من الأربعينيات وحتى يومنا هذا والتي استخدم فيها المجهر الإلكتروني - آلات التصوير المتطورة- وسائل الكشف عن البروتينات والاحماض النووية وعزلها وتحليلها.

علم الأجنة وأطوار الجنين في القرآن الكريم

وقبل كل هذه الاجهزة والتقنيات الحديثة وصف القران الكريم والحديث الشريف الكثير من المكتشفات التي اكتشفها العلم الحديث. حيث تتضمن وصفاً دقيقاً شاملاً للتخلق البشري من وقت امتزاج الأمشاج وخلال تكون الأعضاء وما بعد ذلك ، في مثل قوله تعالى :

- (وَلَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ مِنْ سُلَالَةٍ مِنْ طِينٍ (١٢) ثُمَّ جَعَلْنَاهُ نُطْفَةً فِي قَرَارٍ مَكِينٍ (١٣) ثُمَّ خَلَقْنَا النُّطْفَةَ عَلَقَةً فَخَلَقْنَا الْعَلَقَةَ مُضْغَةً فَخَلَقْنَا الْمُضْغَةَ عِظَامًا فَكَسَوْنَا الْعِظَامَ لَحْمًا ثُمَّ أَنْشَأْنَاهُ خَلْقًا آخَرَ فَتَبَارَكَ اللَّهُ أَحْسَنُ الْخَالِقِينَ (١٤) [المؤمنون].

النطفة هي الزيجوت الذي يتكون من اندماج نواتي الحيوان المنوي والبويضة، تتحول الي علقه تعلق في قرار مكين هو الرحم (مرحلة البلاستولا والجسترولا) ثم تصبح العلقه مضغه (مرحلة التعضي) ثم تتحول المضغه الي عظام (تكوين الحبل الظهري أو العمود الفقري) التي يكسوها اللحم (عضلات الجسم) ثم يؤدي الي خلق آخر يختلف تماما في الشكل والتركيب والمظهر من خلية واحدة هي الزيجوت الي الي انسجة واعضاء تكون جسم الجنين في ادق صورة واحسن خلقه " فتبارك الله احسن الخالقين"

- وضح أن الجنين لا يوجد على صورته ثم يكبر ولكنه يخلق في أطوار كما قال تعالى : (مَا لَكُمْ لَا تَرْجُونَ لِلَّهِ وَقَارًا (١٣) وَقَدْ خَلَقَكُمْ أَطْوَارًا (١٤) [نوح].

- وقوله تعالى: (يَخْلُقُكُمْ فِي بُطُونِ أُمَّهَاتِكُمْ خَلْقًا مِّن بَعْدِ خَلْقٍ فِي ظُلُمَاتٍ ثَلَاثٍ ذَلِكُمْ اللَّهُ رَبُّكُمْ لَهُ الْمُلْكُ لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ فَانَّى تُصْرَفُونَ [الزمر: ٦].

أثبت علماء الأجنة أن الجنين يكون محاطاً أثناء مراحل تخلقه في الرحم بثلاث أغشية هي : الغشاء الأمنيوسي المحيط بالجنين ، وجدار الرحم وجدار البطن.

- وقوله تعالى: (يَا أَيُّهَا الْإِنْسَانُ مَا غَرَّبَكَ بِرَبِّكَ الْكَرِيمِ (٦) الَّذِي خَلَقَكَ فَسَوَّاكَ فَعَدَلَكَ (٧) فِي أَيِّ صُورَةٍ مَا شَاءَ رَكَّبَكَ (٨) [الانفطار].

- وقوله تعالى: (إِنَّا خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ مِنْ نُّطْفَةٍ أَمْشَاجٍ نَّبْتَلِيهِ فَجَعَلْنَاهُ سَمِيعًا بَصِيرًا (٢) [الإنسان]

- وقوله تعالى: (يَا أَيُّهَا النَّاسُ إِنَّا خَلَقْنَاكُمْ مِّن ذَكَرٍ وَأُنثَىٰ وَجَعَلْنَاكُمْ شُعُوبًا وَقَبَائِلَ لِتَعَارَفُوا ۗ إِنَّ أَكْرَمَكُمْ عِنْدَ اللَّهِ أَتْقَاكُمْ ۗ إِنَّ اللَّهَ عَلِيمٌ خَبِيرٌ (١٣) [الحجرات].

- وقوله تعالى: (يَا أَيُّهَا النَّاسُ إِن كُنْتُمْ فِي رَيْبٍ مِّنَ الْبَعْثِ فَإِنَّا خَلَقْنَاكُمْ مِّن تُرَابٍ ثُمَّ مِّن نُّطْفَةٍ ثُمَّ مِّن عِلْقَةٍ ثُمَّ مِّن مُّضْغَةٍ مُّخَلَّقَةٍ وَغَيْرِ مُخَلَّقَةٍ لِّنُبَيِّنَ لَكُمْ ۚ وَنُقِرُّ فِي الْأَرْحَامِ مَا نَشَاءُ إِلَىٰ أَجَلٍ مُّسَمًّى ثُمَّ نُخْرِجُكُمْ طِفْلًا ثُمَّ لِتَبْلُغُوا أَشُدَّكُمْ ۖ وَمِنْكُمْ مَّن يُّتَوَفَّىٰ وَمِنْكُمْ مَّن يُّرَدُّ إِلَىٰ أَرْدَلِ الْعُمُرِ لِكَيْلَا يَعْلَمَ مِن بَعْدِ عِلْمٍ شَيْئًا (٥) [الحج].

حتى عمليات الحمل والمخاض والوضع ونوع الجنين والعقم والحياة والموت اشار الله سبحانه وتعالى في الكثير من المراجع في القرآن الكريم.

(وَصَيَّنَا الْإِنْسَانَ بِوَالِدَيْهِ إِحْسَانًا حَمَلَتْهُ أُمُّهُ كُرْهًا وَوَضَعَتْهُ كُرْهًا وَحَمَلُهُ وَفِصَالُهُ ثَلَاثُونَ شَهْرًا) (١٥) [الأحقاف].

فروع علم الأجنة

١- علم الأجنة الوصفي: Descriptive Embryology

وهو العلم الذي يصف لنا مراحل النمو المختلفة التي تمر بها الأجنة حيث يصف لنا مراحل النمو المختلفة من النطفة (الزيجوت) ثم مرحلة التفلج (البلاستولا) ثم مرحلة التبطين وتكوين الطبقات الجنينية الثلاث المختلفة (الجاسترولة) ثم مرحلة التكوين المبدئي للأعضاء ثم مرحلة التعضي والتكوين النهائي للأعضاء ثم النمو والزيادة في الحجم حتى موعد الخروج للحياة (الفقس أو الولادة)

٢- علم الأجنة المقارن Comparative Embryology

ويهتم بمقارنة مراحل التكوين الجنيني في الطوائف المختلفة من الحيوانات كمقارنة نمو جنين الضفدعة بجنين الدجاج أو بالثدييات.

٣- علم الأجنة التجريبي Experimental Embryology

يفسر لنا ظواهر النمو المختلفة وتستخدم فيه الأجنة كمادة للتجربة ومن أهم تطبيقاته (التلقيح الاصطناعي IVF ، واطفال الانابيب، تجميد الامشاج والأجنة، البزل الأمني، الاستنساخ، تشخيص الأجنة ومعرفة تأثير المواد الكيميائية علي الجنين.

٤- علم التشوهات الخلقية Teratology

يبحث عن الأسباب التي تؤدي إلي التكوين غير الطبيعي بالتأثير على الأطوار الجنينية بعوامل عديدة منها المواد الكيميائية والإشعاع والوراثة والبيئة والهرمونات والأدوية.....الخ.

٥- زراعة الأنسجة Tissue Culture

يختص هذا العلم بزراعة الخلايا والأنسجة والأعضاء والأجنة وزرع الخلايا الجنينية لعلاج الكثير من الأمراض المزمنة كمرض الزهايمر واستبدال القلب والشرابين التالفة او زراعة خلايا جزر البنكرياس لعلاج السكر.

٦- علم الأجنة الجزيئي Molecular Embryology

دراسة التكوين الجنيني على المستوى الجزيئي لجميع مراحل التكوين الجنيني لمختلف أنواع الكائنات الحية ، دور الجينات اثناء التكوين الجنيني وتصنيع الأحماض النووية المختلفة والبروتينات والمعالجات الجينية الجنينية.

يفسر لنا ظواهر النمو المختلفة وتستخدم فيه الأجنة كمادة للتجربة ومن اهم تطبيقاته التلقيح الصناعي (IVF) وأطفال الانابيب ، الاستنساخ ، تجميد الأمشاج والأجنة، البزل الأميني وتشخيص الأجنة ، معرفة تأثير المواد الكيميائية علي الجنين.

مراحل التكوين الجنيني

ويمكن تقسيم المراحل التي يمر بها التكوين الجنيني في الحبليات إلى المراحل التالية:-

١- مرحلة تكوين الأمشاج Gametogenesis

وفيها يتم تكوين الأمشاج المذكرة والأمشاج المؤنثة.

٢- الإخصاب Fertilization: وهو اتحاد نواة البويضة مع نواة الحيوان المنوي لتكوين البويضة الملقحة أو اللاقحة أو Zygote .

٣- مرحلة التقلج Cleavage: انقسام البويضة المخصبة عدة انقسامات ينتج عنها مجموعة من الخلايا تعرف بالفلجات وتستمر الانقسامات إلى أن تتكون كتلة من الخلايا تعرف بالكتلة الجرثومية.

٤- مرحلة تكوين البلاستولا Blastulation: يتكون تجويف داخل الكتلة الجرثومية فتصبح على شكل كرة جوفاء سمكها خلية واحده في السهيم أو كرة جوفاء سمكها عدة خلايا كما في البرمائيات أو على شكل قرص من الخلايا يطفو فوق المح يعرف بالقرص الجرثومي كما في الزواحف والطيور وتمثل إعادة ترتيب وتوزيع الخلايا وفقاً لما ستعطيه كل مجموعة من الخلايا مستقبلاً.

٥- مرحلة التبطين أو الجاسترولا Gastrulation: وهي تمايز الطبقات الجرثومية الثلاث وهي الاكتوديرم والميزوديرم والانوديرم.

التعضي أو تكوين الأعضاء Organogenesis: وهي تكوين الأنسجة والأعضاء المختلفة وتمثل المرحلة الجنينية الحرجة ويعقبها مرحلة نمو لهذه الأعضاء.

التكوين التطوري في الأجنة

وهو كيف تتحول هذه الخلية الواحدة وهي الزيغوت إلى ملايين الخلايا والتي تنتظم فيما بعد لتكون الأجهزة والأعضاء التي تنتهي بتكوين فرد مشابه للأبوين وبذلك فإن عملية التكوين الجنيني تشمل كلاً من :

- ١- التمايز
- ٢- النمو.

(١) التمايز الخلوي :-

وهو قدرة الخلايا الجنينية في المراحل المبكرة من التكوين على أن تتمايز إلى الأنسجة والأعضاء المختلفة . فبعد أن يصبح الجنين كرة خلوية ناتجة عن الانقسام والمضاعفة الخلوية يبدأ في التمايز إلى الثلاث طبقات (اكتودرم – ميزودرم – اندودرم) ثم تبدأ كل طبقة في تكوين الأجهزة الناشئة عنها .

(٢) - النمو:-

ويعني الزيادة في عدد الخلايا الجنينية أو حجمها أو وزنها و يكون النمو بطريقة الانقسام الخلوي وذلك عن طريق تكوين خلايا جديدة بعملية الانقسام غير المباشر وبذلك فإن خلايا الجنين تتمايز إلى.

خلايا مستقرة التكوين :-

مثل الخلايا العصبية حيث أن هذه الخلايا متى ما تكونت ووصلت إلى عددها النهائي قبل الولادة تتوقف عن الانقسام بعد الولادة وتستمر خلايا الغراء العصبي فقط بالانقسام فقط. وتكون الزيادة فقط في حجم الخلايا عن طريق زيادة كمية السيتوبلازم وأجسام نسل والزوائد الشجرية.

١ - خلايا مستمرة التكوين :-

وهي الخلايا التي تستمر في انقسامها أو تكاثرها حتى بعد الولادة مثل معظم خلايا الجسد " الكبد ، العضلات " تبعاً لحاجة الجسم ووفقاً لعوامل عديدة منها الوراثية والهرمونية وغيرها.

١ - خلايا متجددة التكوين :-

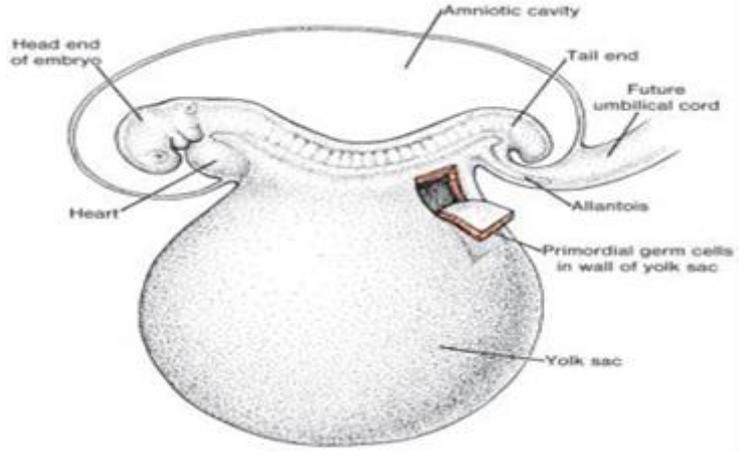
وهي خلايا احتفظت بخواصها الجينية دون أن تتميز إلى أي نوع من الخلايا حيث تنقسم إلى خليتين احدهما تتميز بينما تبقى الأخرى غير متميزة مثل " خلايا الدم ، الجلد ، الأمشاج " .

تكوين الأمشاج Gametogenesis

تنتقل الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء عن طريق الخلايا الجنسية وهي الحيوانات المنوية (الجاميتات أو الأمشاج المذكرة) وتتكون في خصية الذكر داخل الأنابيب الأنثيبات المنوية. وهي صغيرة الحجم ذات رأس ولها ذيل طويل تتحرك بواسطته. أما النوع الآخر فهي البويضات ومفردها بويضة وهي أكبر بكثير من الحيوانات المنوية ساكنة لا تتحرك محملة بالمواد الغذائية وكلاً منهما يحمل نصف العدد الأصلي من الكروموسومات (٢٣ كروموسوم) وهي المرحلة الأولى لتكوين الجنين وبداية الخلق وهي النطفة.

منشأ وهجرة الخلايا الجرثومية الأولية:- تسمى الخلايا التي تكون الجاميتات

(الحيوانات المنوية او البويضات) بالخلايا الجرثومية الأولية Primordial germ cells . تنشأ الخلايا الجرثومية الأولية في الثدييات من اندودرم عنق كيس المح قبل هجرتها الي الغدد التناسلية (الخصية او المبيض). حيث تهاجر الي المناسل خلال الدورة الموية حيث تتعرف علي الاوعية الدموية للمناسل وتخرق جدار الاوعية الدموية وتستنقر في النهاية في المناسل شكل ٢ .



شكل ٢: يوضح منشأ الخلايا الجرثومية الأولية لجنين الانسان في نهاية الاسبوع الثالث

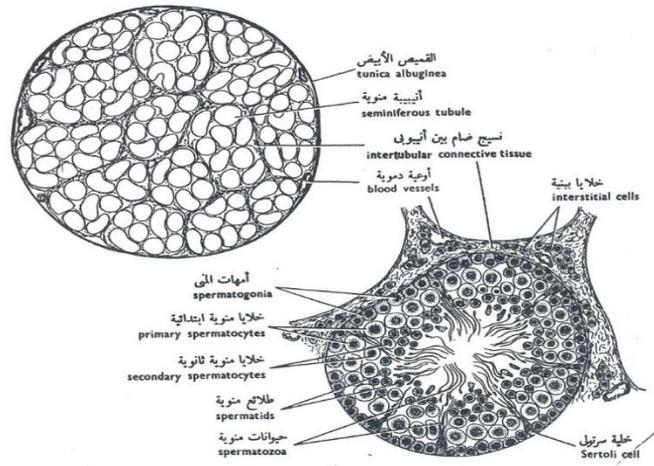
تكوين الحيوانات المنوية

تتكون الحيوانات المنوية في الخصية وهي الغدة التناسلية للذكر وهي المسؤولة عن صنع النطف (الحيوانات المنوية) وافراز هرمونات الذكورة. توجد الخصيتان داخل كيس الصفن خارج الجسم حيث درجة الحرارة اقل من درجة حرارة الجسم فتساعد علي توالد النطف. والخصية عبارة عن عدد هائل من الأنبيبات المنوية متعرجة وملتفة حول نفسها قد يصل طولها الي ٥٠٠ متر ملتفة في حيز لا يزيد عن ٥ سم وتحاط الخصية بنسيج ضام مرن ويتخللها نسيج ضام بين أنببيبي. وعندما يصل الحيوان الفقاري إلى مرحلة النضوج الجنسي تبدأ خلايا أمهات المني في النمو والتحول إلى حيوانات منوية داخل الأنبيبات المنوية ولا تتحول كل مولدات المني الموجودة داخل الأنبيبات المنوية دفعة واحدة إلى حيوانات منوية ولكن تتم هذه العملية في مجموعات منها فقط وعلى فترات متتابعة كما أن هناك انقسامات دائمة ومستمرة لمولدات المني لإنتاج أعداد أكثر وأكثر ولذلك فإننا نجد جميع مراحل

تكوين الحيوان المنوي في الخصية الواحدة في آن واحد (شكل ٣).



رسم تخطيطي للتركيب الطولي



شكل ٣: قطاع عرضي من خصية فأر

مراحل تكوين الحيوانات المنوية Spermatogenesis

(١) مرحلة التضاعف Multiplication Phase :-

تنقسم أمهات المنى بعد تكونها انقسام ميتوزي Mitosis عدد من المرات لتعطي عدد كبير من أمهات المنى Spermatogonia كل منها تحتوي علي العدد المزدوج من الكروموسومات (2ن) لتشكل بذلك مصدراً لخلايا جنسية جديدة (شكل ٤).

(٢) مرحلة النمو Growth Phase :-

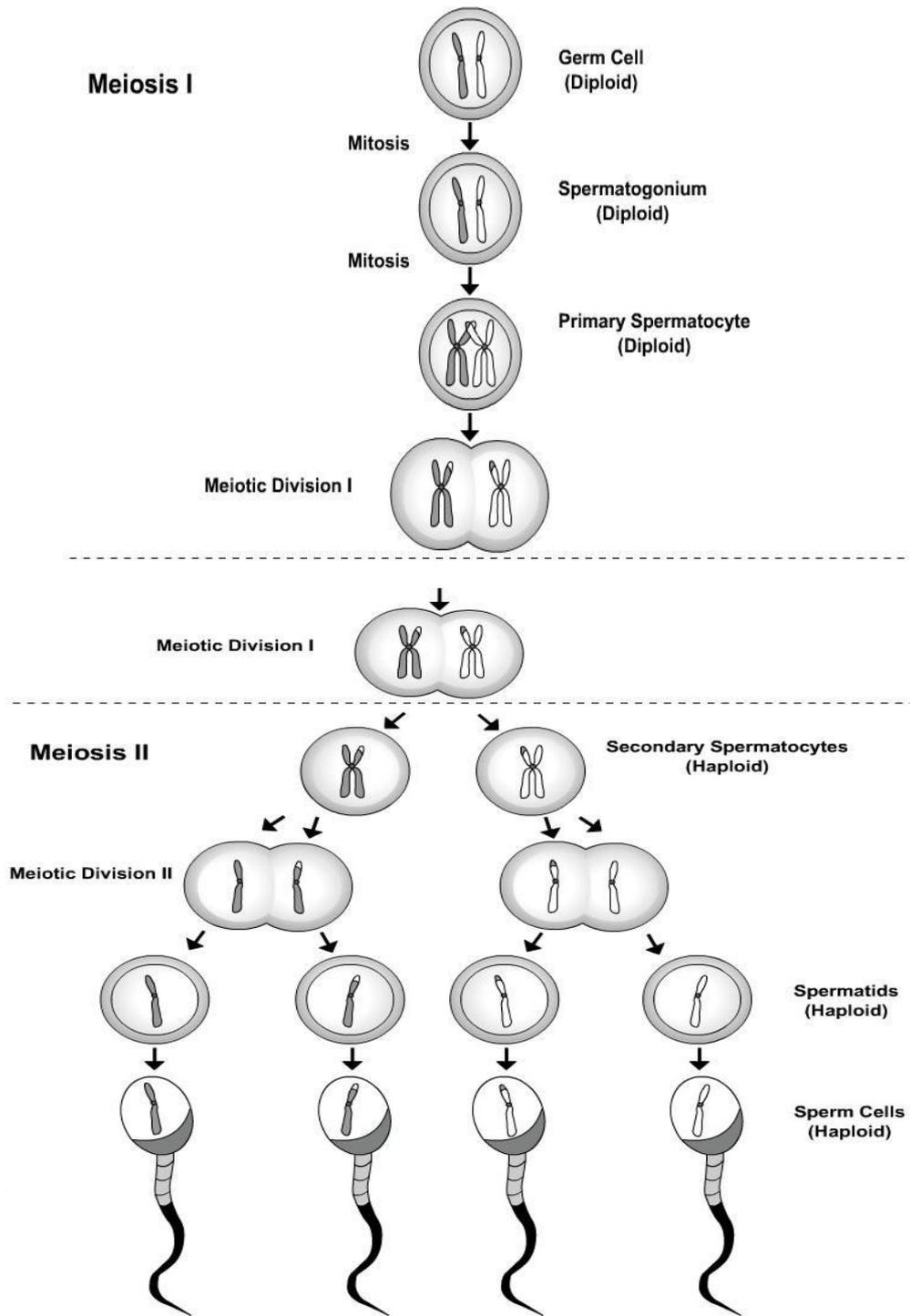
تستمر بعض خلايا أمهات المنى في الانقسام ويبدأ بعضاً منها في النمو حيث تنقسم كل واحدة منها لتعطي خليتان تدخل كلاً منها في مرحلة نمو عن طريق زيادة حجم الخلية بزيادة كمية السيتوبلازم وتعرف بالخلايا المنوية الأولية أو الابتدائية Primary spermatocytes وهي أكبر الخلايا المنوية وتتجه نحو مركز الأنبيبية فوق أمهات المنى وتكون في حالة انقسام مستمر .

(٣) مرحلة النضج Maturation Phase :-

تنقسم الخلايا المنوية الأولية انقسامها الاختزالي Meiosis الأول بعد أن تضاعف DNA الكروموسومي لتعطي كل خلية خليتين تعرف كلاً منها بالخلية المنوية الثانوية Secondary Spermatocytes الحاوية لنصف العدد من الكروموسومات الموجود في خلايا أمهات المنى وهي خلايا أصغر من سابقتها وتتجه أيضاً نحو المركز وهذه بدورها تنقسم الانقسام الاختزالي الثاني لتعطي أربعة خلايا صغيرة ذات نواة صغيرة داكنة مركزية دائرية هي الطلائع المنوية Spermatids .

(٤) مرحلة التمايز (التحول النطفي) Differentiation Phase :-

تتمايز الطليعة المنوية إلى حيوان منوي Spermatozoon بعملية تعرف بالتحول النطفي وفيها يحدث تحور للطليعة المنوية من خلية عادية إلى حيوان منوي رشيق القوام له القدرة على الحركة والإخصاب.



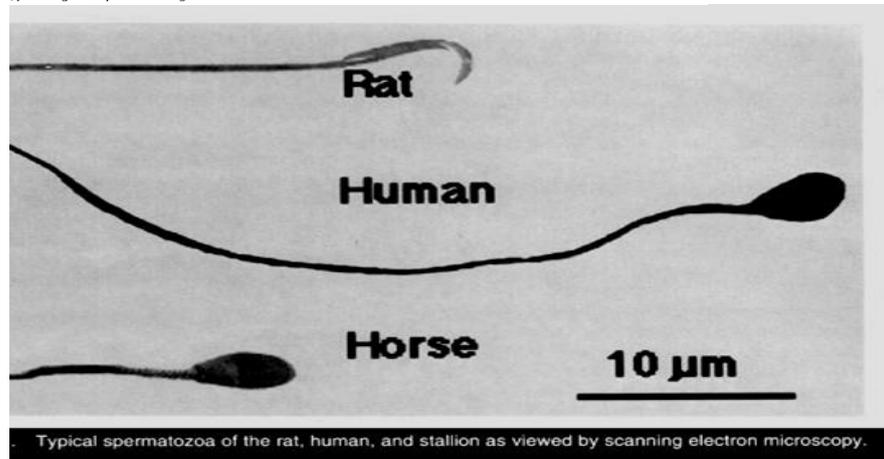
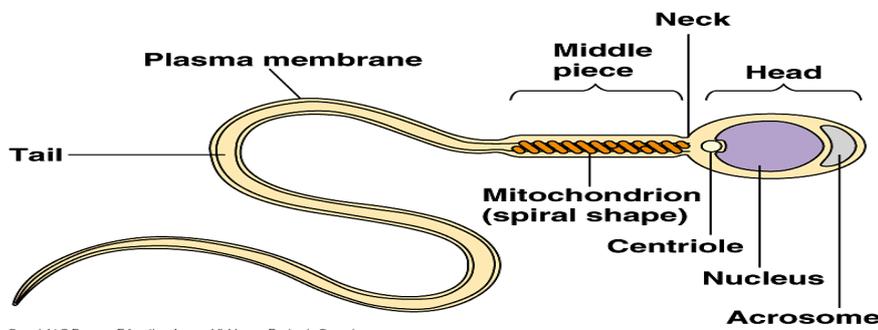
شكل ٤: مراحل تكوين الحيوانات المنوية

تركيب الحيوان المنوي Sperm structure

١- الرأس : وبه النواة شكلها حسب نوع الحيوان مفلطح كما في الإنسان أو خطافي كما في الفأر كمثري كما الأغنام ومغزلي كما في البرمائيات أو خيطي كما في الطيور. يغطي أعلى النواة الجسم القمي (Acrosome) وبه الأنزيمات الهاضمة لكي تساعد في اختراق أغشية البويضة أثناء الإخصاب (شكل ٥).

٢- القطعة المتوسطة : حيث تحتوي على الميتوكوندريا لإنتاج الطاقة للحركة

٢- الذيل : ويعمل على حركة الحيوان المنوي .



شكل ٥: تركيب الحيوان المنوي

تحديد جنس المولود

ان جنس الجنين يحدد من اللحظة الأولى للإخصاب وفقاً للتركيب الوراثي لنواة الحيوان المنوي الذي يلقي البويضة . حيث أن كلاً من نواتي الحيوان المنوي والبويضة تحمل ٢٣ زوجاً من الكروموسومات منها ٢٢ كروموسوم جسدي وزوجاً واحداً هو

المسئول عن تحديد الجنس وهو الكروموسوم الجنسي و الحيوانات المنوية ، إما أن تكون مذكرة أي تحتوي على الكروموسوم y فقط، وإما أن تكون حيوانات منوية مؤنثة أي تحمل الكروموسوم X ، وتبعاً للتراكيب الوراثية لنواة البويضة المخصبة الناتجة من اتحاد النواتين يكون الجنس . فإذا كان التركيب الوراثي XX كان الجنين بنتاً ، وإذا كان التركيب الوراثي XY فإن الجنين ولدأًقال تعالي....

((يَهَبُ لِمَنْ يَشَاءُ إِنَاثًا وَيَهَبُ لِمَنْ يَشَاءُ الذُّكُورَ أَوْ يُزَوِّجُهُمْ ذُكْرَانًا وَإِنَاثًا وَيَجْعَلُ مَنْ يَشَاءُ عَقِيمًا إِنَّهُ عَلِيمٌ قَدِيرٌ)) الشوري ٤٩ .

مراحل تكوين البويضات Oogenesis

تتكون البويضات (الجاميتات المؤنثة) في المبيض وهو الغدة التناسلية للانثى ويوجد المبيض داخل الحفرة المبيضية في الحوض ويوجد مبيض علي كل جانب يشبه اللوزة طوله حوالي ٣ سم وعرضه ٢ سم وسمكه ١ سم ويثبت المبيض في مكانه مجموعة من الأربطة.

١- مرحلة التضاعف Multiplication Phase:

تنقسم الخلايا الجرثومية الأولية عدة مرات انقسام غير مباشر لتعطي عدد كبير من أمهات البيض oogonia المحتوية على ٤٦ كروموسوم وهذه تكون ملاصقة لغشاء المبيض في مجموعات تعرف بأعشاش أمهات البيض في الثدييات وتحدث هذه المرحلة بعد تمايز المبيض في المرحلة الجنينية من التكوين (في الشهر الثالث من الحمل). تستمر هذه الخلايا في الانقسام ويتحول بعضها الي خلايا بيضية ابتدائية حتي يصل عددها في الشهر الخامس من الحمل الي سبعة ملايين عندها يبدأ الكثير من امهات البيض والخلايا البيضية الابتدائية في التحلل والموت حتي يصل عددها عند الولادة من ٧٠٠,٠٠٠ الي ٢ مليون. خلال مرحلة الطفولة يتحلل الكثير منها، ولا يتبقي منها عند مرحلة البلوغ سوي ٤٠٠,٠٠٠ . أقل من ٥٠٠ فقط هي التي يحدث لها تبويض. تبدأ الخلايا البيضية الابتدائية الانقسام الميوزي الاول في المرحلة الجنينية

ثم تدخل في مرحلة كمن . قبل البلوغ تكمل الانقسام الميوزي الاول ثم تبدأ الانقسام الاختزالي الثاني قبل التبويض بساعات ولا تكمله الا عند الاخصاب.

٢- مرحلة النمو Growth Phase:

تبدأ بعض من الخلايا البيضية الابتدائية Primary oocyte في النمو وهذا النمو يزود البويضة بما يحتاجه الجنين لنموه من مواد غذائية. وتنمو واحدة فقط منها حيث تحاط بخلايا حويصلية من طلائية المبيض أي من الطبقة السطحية للمبيض وتكون على شكل طبقة واحدة من الخلايا الحويصلية بينما تبقى الخلايا البيضية الابتدائية الأخرى في الطور المضاعف لشهور بل ولعدة سنين قد تصل في أنثى الإنسان إلى ٥٠ سنة. وهذا من شأنه أن يزيد من معدلات الأضرار الكروموسومية وفي خلال هذا الزمن وطوال فترة خصوبة المرأة تنضج خلية بيضية ابتدائية واحدة كل شهر استجابة للحفز الهرموني. وهذا هو السبب الأساسي لزيادة احتمال وجود عيوب خلقية عند الأطفال الذين يولدون لنساء متقدمات في السن.

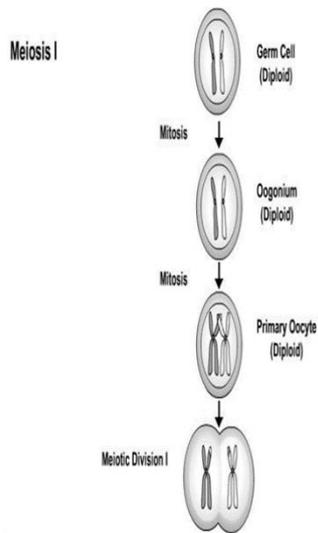
تستمر الحويصلة الأولية في النمو متجهة إلى السطح الآخر للمبيض وتحاط بطبقات من الخلايا الحويصلية ثم تتراكم حولها عدد كبير من الخلايا الحويصلية ويعرف هنا الركام بالركام الحويصلي وبداخله البويضة الابتدائية الناضجة وعندها تدخل البويضة في تركيب خاص يعرف بحويصلة جراف Grafian follicle نسبة إلى مكتشفها. وتقوم الخلايا الحويصلية التي تحيط بالبويضة منذ بدء نموها ونضجها بحماية البويضة النامية وتغذيتها وترسيب المواد الغذائية بها ومن ضمن المواد الهامة التي تتراكم في البويضات المح وهو احتياطي غذائي رئيسي لمعظم الأجنة النامية.

٣- مرحلة النضج : Maturation Phase

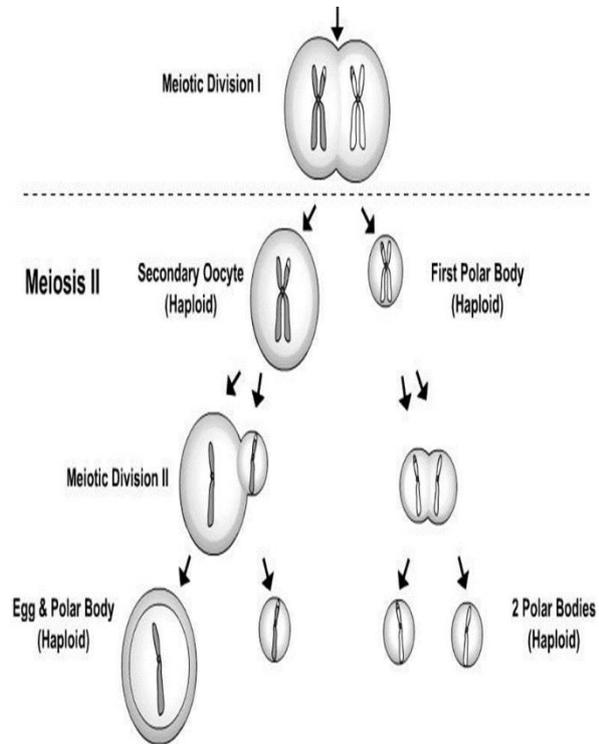
إن خروج البويضة من المبيض يكون بمثابة تنبيه لها لتتقسم الانقسام الاختزالي الأول وأثناء حدوث الانقسام تتحرك نواة الخلية البيضية الابتدائية لتحتل مكانا جانبيا بالقرب من جدارها ويحدد هذا المكان أحد أقطاب الخلية البيضية وهو القطب الحيواني وتمثل الجهة المقابلة القطب الخضري وينتج عن الانقسام بويضة واحدة كبيرة هي الخلية

البويضة الثانوية Secondary oocyte (الحاوية على نصف عدد الكروموسومات) وجسم صغير هو الجسم القطبي الأول First polar body . وتستقر البويضة الثانوية في الجزء العلوي من قناة البيض بانتظار الحيوانات المنوية لتلقحها ويلاحظ أن البويضة تحاط أثناء خروجها من المبيض بجزء من نسيجه الضام المرن والذي يعرف بالقشرة الحويصلية.

يحدث الانقسام الاختزالي الثاني للبويضة الثانوية داخل قناة البيض ويعد اختراق الحيوان المنوي لأغشيتها تنبيها لها لتتقسم معطية خلية ببيضية واحدة كبيرة محتوية على الجزء الأكبر من السيتوبلازم هي البويضة الناضجة Maturation ovum وجسم صغير هو الجسم القطبي الثاني Second polar body الحاوي لقدر بسيط جدا من السيتوبلازم كما قد ينقسم الجسم القطبي الأول (أو لا ينقسم) مكونا جسمان قطبيين وبعد فترة قصيرة تتلاشى هذه الأجسام القطبية الثلاثة ولذلك فإن تكوينها لا يعدو سوى ذهاب نصف عدد الكروموسومات الموجودة في نواة الخلية الببيضية وأن تحظى البويضة بأكبر كمية من السيتوبلازم للمحافظة على المخزون الهائل من المواد التي تنتج وتتراكم أثناء نمو الخلية الببيضية ولو كان الانقسام متساويا لحصلت كل من الخليتين الناضجتين على كمية متساوية من المواد المخزنة والتي تعد أقل جدا مما هو ضروري للتكوين الناجح والطبيعي للجنين (شكل ٦).

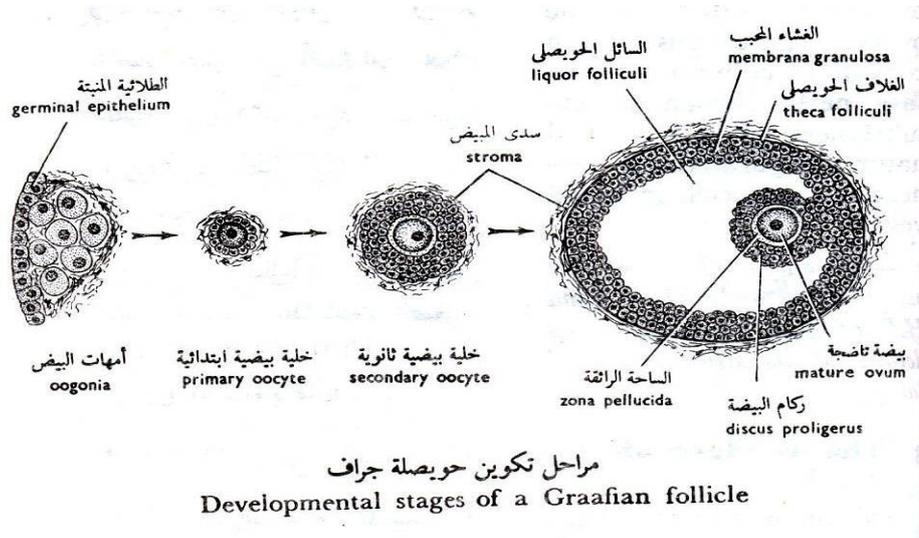


Egg structure تركيب البويضة



شكل ٦: يوضح مراحل تكوين البويضات

تكون البويضة عادة مستديرة الشكل ولها نواة Nucleus مستديرة تحاط بكتلة سيتوبلازمية تحتوي على كمية متباينة من المح وتحاط البويضة بأغشية خاصة فعادة ما تكون مغلقة أولا بغشاء المح Vitelline Membrane الرقيق الذي تفرزه البويضة ذاتها ، و لذا يعرف أيضا بغشاء البويضة الابتدائي Primary egg membrane، و قد يحيط بهذا الغشاء غشاء ثانوي Secondary membrane تكونه الخلايا الحويصلية التي تحيط بالبويضة في المبيض شكل (٧).



شكل ٧: مراحل تكوين حويصلة جراف

أنواع البويضات

تختلف البويضات في الحجم منها الصغير ومنها الكبير ولكنها تعتبر أكبر الخلايا الحيوانية لاحتوائها على المادة الغذائية اللازمة لتكوين الجنين (المح) ، وطبقا لوجود أو عدم وجود المح وطريقة توزيعه داخل البويضة تقسم البويضات الى انواع مختلفة (شكل 8).

أ- تقسيم البويضات طبقا لكمية المح:

١- بويضات نادرة او عديمة المح Alecithal – يوجد بها كمية قليلة جدا من مح أو تكاد تنعدم حيث تقوم المشيمة بتغذية الجنين كما في الثدييات المشيمية.

٢- بويضات قليلة المح Oligolecithal - تحتوي علي كمية قليلة من المح كما في بويضة السهيم وشوكية الجلد.

٣- بويضات متوسطة المح Mesolecithal - تحتوي علي كمية متوسطة من المح كما في بويضة البرمائيات وبعض الأسماك.

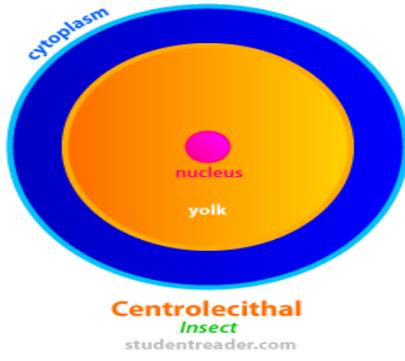
٤- بويضات غزيرة المح Macrolecithal - حيث يوجد كمية كبيرة من المح تشغل معظم حيز البويضة . لذلك نجد النواة والسيتوبلازم ينحصر في جزء صغير جدا عند طرف البويضة يسمى القرص الجرثومي (germinal disc) كما في بويضة الزواحف والطيور.

ب - تقسيم البويضات طبقا لتوزيع المح:

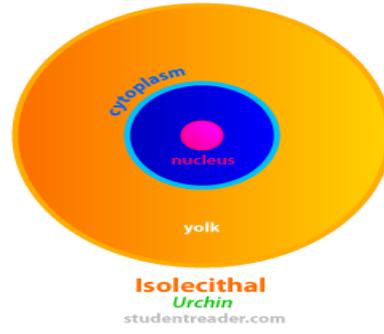
١- متساوية المح Isolecithal تتوزع حبيبات المح داخل السيتوبلازم بطريقة متساوية كما في الحبيبات الأولية مثل السهيم وبعض الأسماك.

٢- طرفية المح Telolecithal تتركز حبيبات المح عند احد اطراف البويضة كما في بويضة الضفدعة حيث تتركز حبيبات المح عند القطب الخصري.

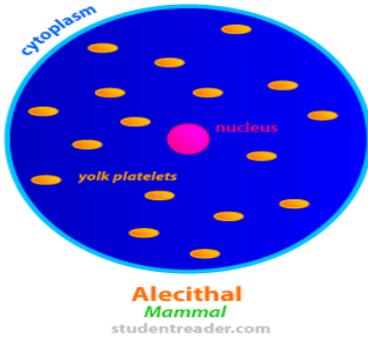
٣- مركزية المح Centrolecithal تتركز حبيبات المح في مركز البويضة كما في بويضات الحشرات.



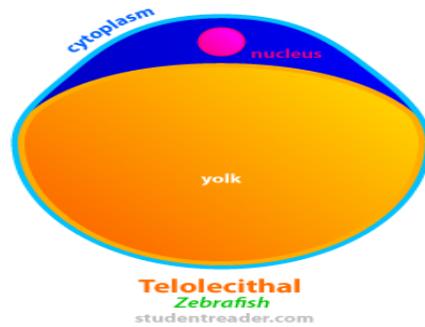
بويضة مركزية المح



بويضة متساوية المح



بويضة قليلة المح



بويضة طرفية المح

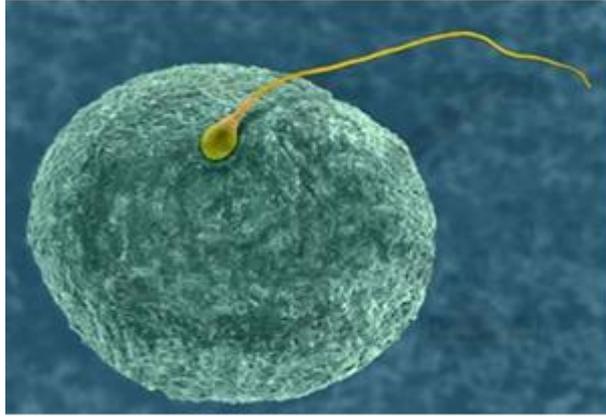
شكل ٨: أنواع البويضات

الإخصاب Fertilization

الإخصاب هو عملية يستطيع الحيوان المنوي من خلالها البدء والمشاركة في نمو الجنين باتحاد نواة الحيوان المنوي (تحتل نصف عدد الكروموسومات – الصفات الوراثية للأب) مع نواة البويضة (تحتل نصف عدد الكروموسومات – الصفات الوراثية للأم).

انواع الإخصاب

١- إخصاب خارجي External Fertilization : خارج جسم الحيوان ويوجد في الحيوانات المائية حيث تحتاج هذه العملية لبيئات مائية ليسبح الحيوان المنوي إلى



البويضة. ففي كثير من الأسماك تضع الأنثى البيض في الماء ويضع الذكر الحيوانات المنوية فوق البيض.

٣- إخصاب داخلي Internal Fertilization : داخل جسم الحيوان

٤- ويوجد في الحيوانات الأرضية بيوضة او ولودة. وقد يحمل الصغير داخل الأم ويولد بعد فترة محددة ، أو أن تحاط البيضة المخسبة بأغلفة للحماية ثم تبيضها الأم ، وتتركها لينمو الجنين خارج جسمها.

للإخصاب ثلاث وظائف محددة

١- ينشط البيضة لتبدأ التفاعلات الأيضية.

٢- إستعادة العدد المزدوج للكروموسومات.

٣- حث البيضة على الإنقسام ، وبدء عملية التقلج.

تتطلب عملية الإخصاب في معظم الحيوانات مايلي:

١ - يحتاج الإخصاب إلى وسط سائل ، وهو الماء في الحيوانات التي تعيش في الماء أو سائل الجسم في الحيوانات الولودة.

٢ - فترة حياة الجاميتات محدودة ، ومن ثم يجب أن تخصب البيضة خلال فترة محددة.

٣ - لزيادة احتمالية الإخصاب ، يجب أن تكون أعداد الحيوانات المنوية أكبر بكثير من أعداد البويضات.

التفليج

التفليج هو سلسلة من الانقسامات الميوزية تحدث للبويضة المخصبة وتنتهي بتكوين طور البلاستولة وتعرف الخلايا الناتجة من هذه الانقسامات بالفلجات.

أنواع التفليج Types of Cleavage

يختلف نوع التفليج باختلاف شكل البويضة وكمية المح و توزيعه في السيتوبلازم.

١- التفليج الكامل Holoblastic Cleavage:

أ) التفليج الكامل المتساوي Holoblastic equal cleavage

انقسام كلي كامل ، في البويضات قليلة المح أو متوسطة المح والتي يتوزع المح فيها بصورة منتظمة ومتساوية وينتج عنه فلجات متساوية في الحجم. مثل بويضة السهم والتدبيبات.



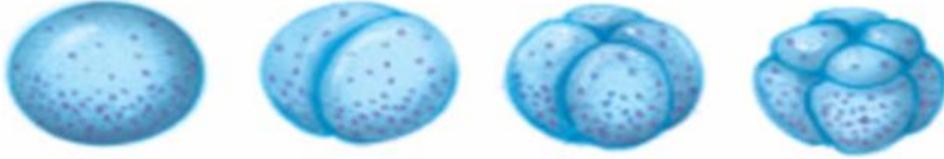
ب) التفليج الكامل الغير متساوي Holoblastic unequal cleavage

شكل ٩: التفليج الكامل المتساوي

الانقسام كلي كامل ولكن غير متساوي ، في البويضات ذيلية المح كالبرمائيات ، حيث تتركز كمية كبيرة من المح جهة القطب الخصري (تعمل على ابطاء سرعة الانقسام و اعاقه مستويات التفليج في نصف الكرة الخصري) وبالتالي فإن خلايا القطب الحيواني والتي تحتوي علي كمية قليلة من المح تكون أسرع في الانقسام وبالتالي أصغر حجماً و أكثر عدداً.

٢- التفلج الجزئي: Meroblastic cleavage

تفلج غير كامل في البويضات التي تحتوي علي مح كثير حيث لا تمر مستويات التفلج بالمح مثل بويضة الطيور والزواحف ويتمثل في :



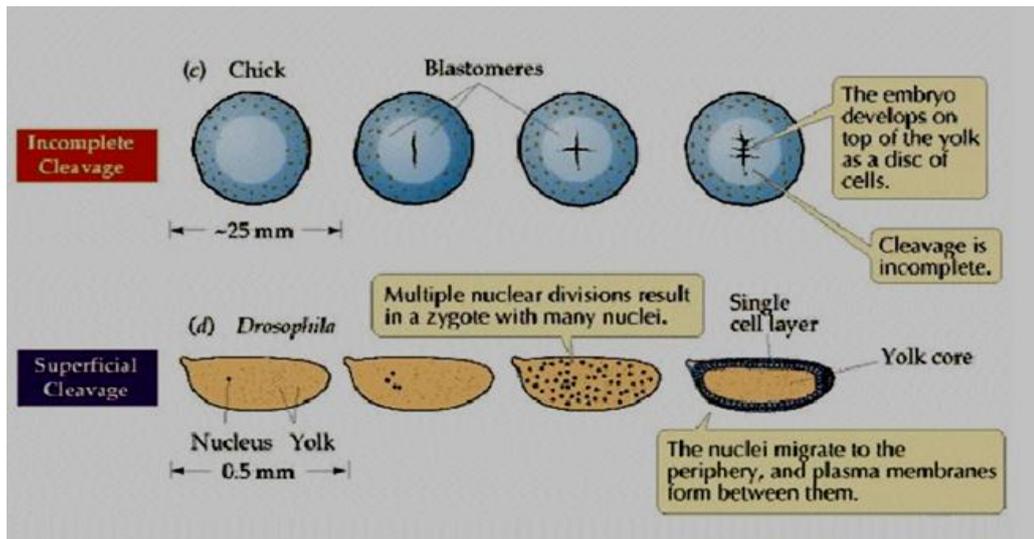
أ - تفلج قرص (Discoidal cleavage)

شكل ٩: التفلج الكامل غير المتساوي

انقسام غير كامل كما في الزواحف و الطيور حيث ينحصر التفلج في منطقة اعلى البويضة تسمى بالقرص الجرثومي أو البلاستودرم (سيتوبلازم خالي من المح و يطفو فوق المح).

ب- التفلج السطحي: Superficial Cleavage:

في البويضات التي يكون فيها المح مركزي في وسط البويضة كما في الحشرات ، تنقسم النواة انقسامات متتالية ثم تتحرك الانوية الي سطح البويضة وتنفرد كل نواة بجزء من السيتوبلازم وتتكون الخلايا علي سطح البويضة.

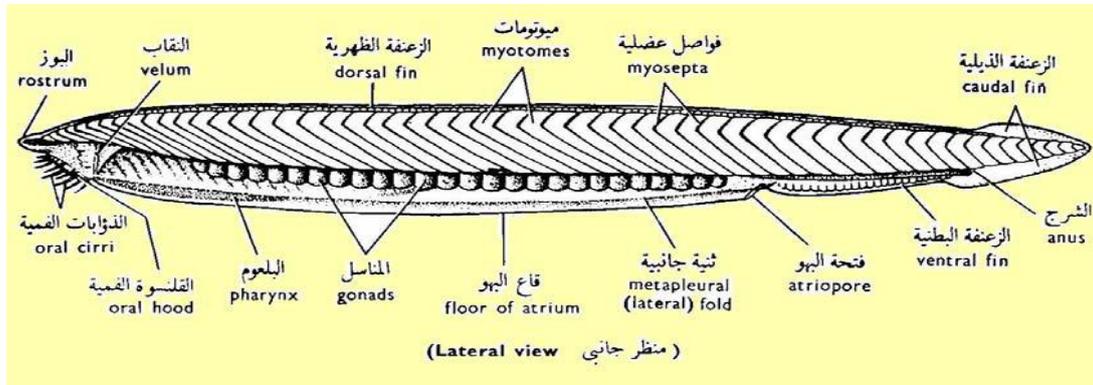


شكل ١٠: التفلج القرصي والسطحي

التكوين الجنيني في السهم

Embryonic development of Amphioxus

ينتمي حيوان السهم تصنيفياً إلى شعبة الحبلديات طائفة الرأس حبلديات ، وهو حيوان بحري شفاف مدبب الطرفين ، يتراوح طوله ما بين ٣،٥ - ٥ سم شكل (١١) .
الجنسين فيه منفصلان ويتم الإخصاب في هذا الحيوان خارجياً و بعد مرور ساعة من عملية الإخصاب تبدأ مراحل التفلج والتي تكون من النوع الكامل المتساوي.



شكل ١١ : حيوان السهم

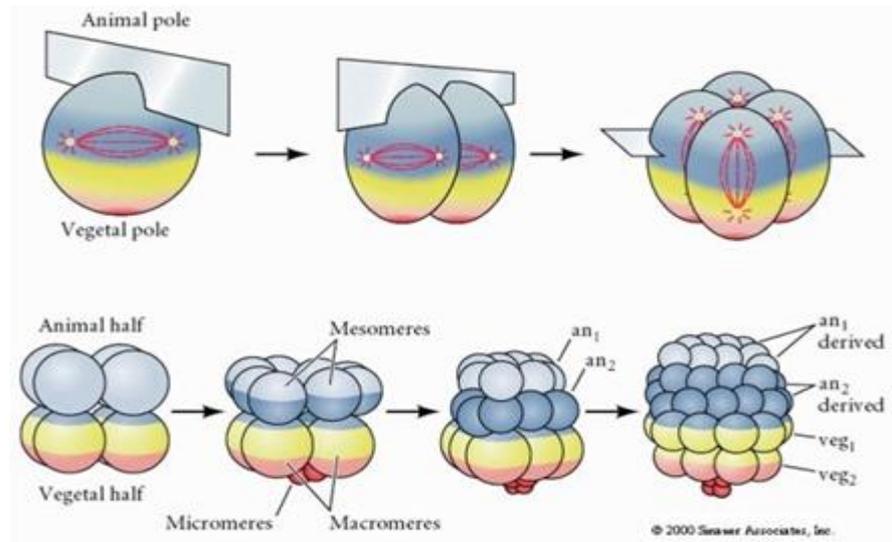
التفـلج في السهم:

يبدأ التفلج بعد الإخصاب بحوالي ٦٠ - ٧٠ دقيقة. يبدأ الانقسام الأول من القطب الحيواني ويمتد الى القطب الخضري وهو انقسام طولي وينتج عنه فلجتان متساويتان ، الانقسام الثاني طولي ايضا وعمودي على الانقسام الأول ويحدث بعد ٤٥ دقيقة من الانقسام الأول ويعطي ٤ فلجات متساوية، الانقسام الثالث يبدأ بعد ٣٠ دقيقة من الانقسام الثاني ويكون مستعرض ويمر أعلى مستوى خط الوسط بقليل (أقرب للقطب الحيواني) وذلك لان تركيز المح في نصف الكرة الخضري كبير ويشكل مانع أمام توسط شق الانقسام وينتج ٨ فلجات ٤ صغيرة ناحية القطب الحيواني و ٤ فلجات كبيرة ناحية القطب الخضري. الانقسام الرابع عبارة عن شقان طوليان ويعطي ١٦ فلجة مرتبة في صفين كل صف يحتوي على ٨ فلجات ، الانقسام الخامس عبارة عن شقين مستعرضين موازيين للانقسام الثالث وينتج عنه ٣٢ فلجة مرتبة في ٤ صفوف في كل

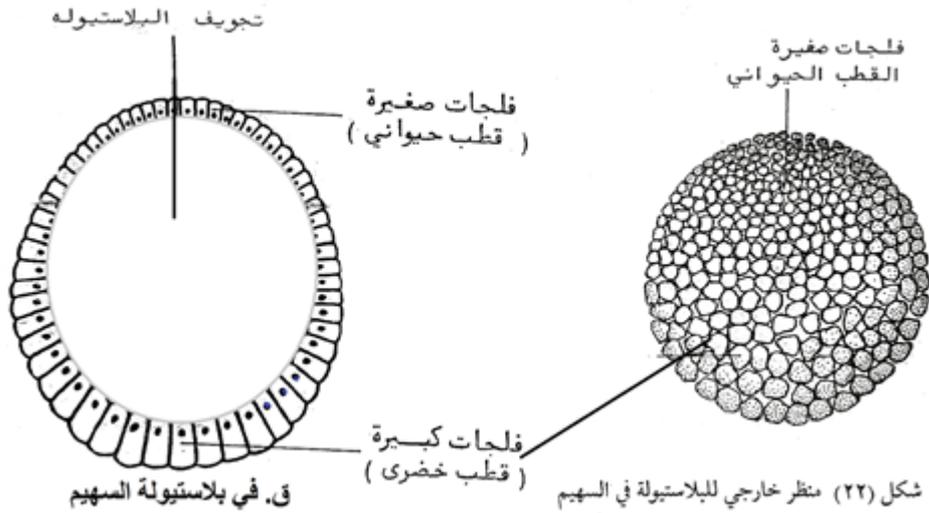
صف ٨ فلجات تزداد في الحجم كلما اتجهنا الى القطب الخصري ويعرف هذا الطور بالتوتية شكل (١٢). تستمر انقسامات فلجات التوتية بطريقة غير منتظمة الى أن تتكون كرة جوفاء من الخلايا تعرف باسم البلاستولة.

تركيب البلاستولة في السهيم:

عبارة عن كرة جوفاء من الخلايا. يتكون جدارها من طبقة واحدة عبارة عن صف واحد من الخلايا او الفلجات بعضها صغير ناحية القطب الحيواني والاخر كبير ناحية القطب الخصري. تحتوي علي تجويف مركزي يسمى البلاستوسيل او تجويف البلاستولة (شكل ١٣).



شكل ١٢: التفلج في السهيم



شكل ١٣: بلاستوبولة السهيم

التبطين (الجاسترولا) في السهيم.

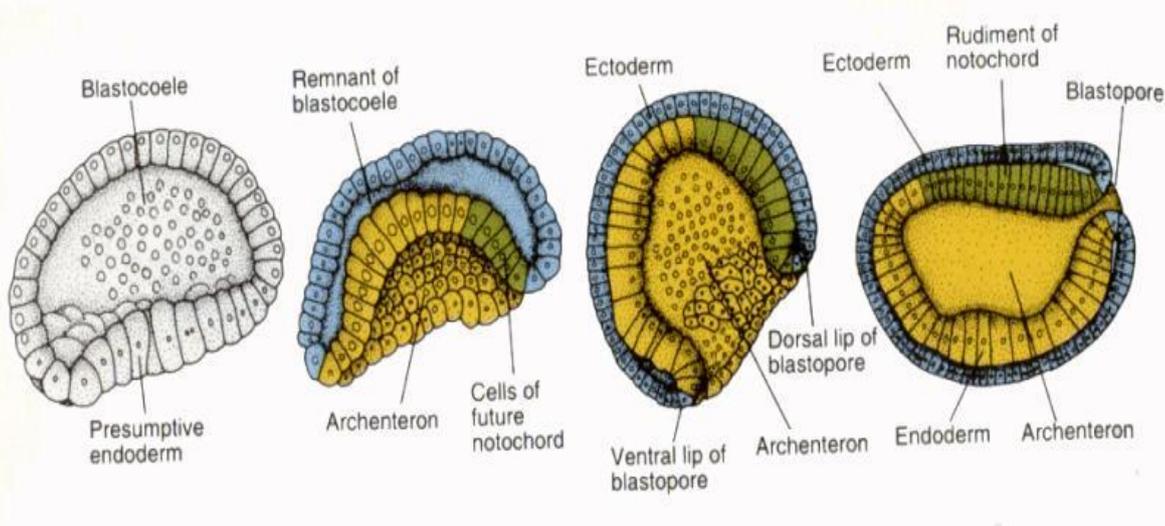
التبطين (Gastrulation) هو المرحلة التي تلي مرحلة التفلج وتكوين البلاستوبولة في الجنين ويتحول فيها الجنين الذي كان يتكون من طبقة واحدة خلال مرحلة المفلجة او البلاستوبولة الى جنين يتكون من عدة طبقات خلوية وذلك نتيجة لتحرك الخلايا وهجرتها من سطح الجنين الى الداخل لتبطن خلايا الجنين من الداخل، وكذلك بداية تكوين المعى القديم أو البدائي (Archenteron) أو التجويف الداخلي (البطن) للجنين ولذلك سمية بعملية التبطين ويعرف الجنين في هذه المرحلة بالمبطننة أو الجاسترولة (Gastrula).

١- تبدأ عملية التبطين بتسطح جدار البلاستوبولة عند القطب الخضري وينغمد للداخل تدريجياً.

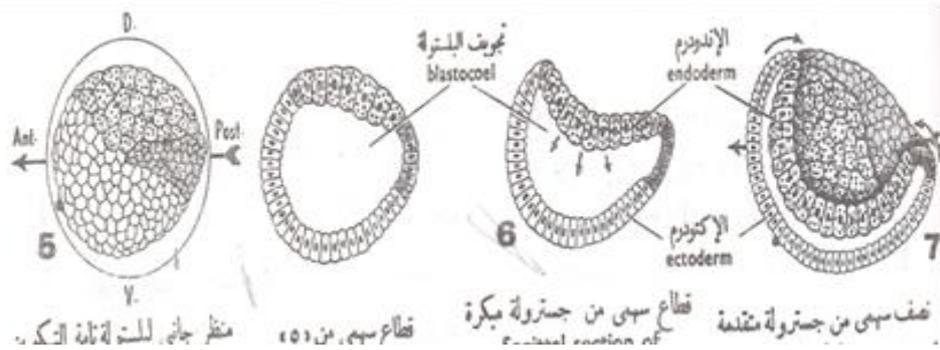
٢- تزداد عملية الانغماد فينقص حجم تجويف البلاستوبولة وفي نفس الوقت يظهر تجويف جديد في وسط الجزء المنغمد يعرف بتجويف الجاسترولة او تجويف المعى القديم .

٣- تستمر عملية الانغماد حتي يتلاشي تجويف لبلاستوبولة ويتكون طور جديد هو الجاسترولة

٤- يتكون جدار الجاسترولة من طبقتين: الخارجية هي طبقة الاكتودرم (Ectoderm) والداخلية هي الاندودرم (Endoderm) ثم تبدأ تهاجر خلايا من السطح لتكون طبقة متوسطة بين الطبقتين تسمى بالطبقة المتوسطة أو الميزوديرم (Mesoderm) شكل (١٤).



شكل ١٤: التبطين (مرحلة تكوين الجسترولا في السهيم)



التعضي او تكوين الأعضاء في السهيم Organogenesis

١- تكوين الجهاز العصبي المركزي Neurulation

يتكون الجهاز العصبي المركزي علي هيئة شريط من الخلايا الاكتودرمية بطول السطح الظهري للجسترولا ويسمي هذا الشريط بالصفحة العصبية neural plate

وتصبح خلايا هذا الشريط اكثر سمكا من الخلايا المجاورة. تتحني الصفيحة العصبية قليلا اسفل مستوي الاكتودرم وتعطي الميزاب العصبي بينما يرتفع الاكتودرم المحيط بالحافتين الجانبيتين معطيا الثنيتين العصبيتين. يحدث التفاف لاعلي لنهايتي الصفيحة العصبية حتي تتحدان مع بعضهما في الخط المنصف الظهري وبذلك تتحول الصفيحة العصبية الي انبوبة عصبية ويسمي التجويف داخل الانبوبة العصبية بالتجويف العصبي. يتغلظ الطرف الامامي للانبوبة العصبية معطيا المخ ويعطي باقي الانبوبة الحبل الشوكي شكل (١٥).

٢- تكوين الحبل الظهري Notochord

١- ينشأ الحبل الظهري من خلايا الجزء الظهري المتوسط للطبقة الداخلية للجاسترولة الذي يقع أسفل الصفيحة العصبية مباشرة.

٢- تتسطح هذه الخلايا مكونة صفيحة الحبل الظهري

٣- تنتهي الى الداخل الى أن تتحول الى حبل مصمت من الخلايا يعرف بالحبل الظهري

٤- يبدأ تكوين الحبل الظهري في منطقة الذيل ويمتد الى مقدمة الرأس في السهيم لذا يعتبر السهيم من الرأس حبلية.

٣- تكوين الميزوديرم في السهيم Mesoderm

الميزوديرم هو أحد الطبقات الجنينية الثلاث ويقع بين الاكتوديرم و الاندوديرم

١- يبدأ ظهور الميزوديرم في السهيم على شكل شريطين طوليين من الطبقة الداخلية للجاسترولة على جانبي الحبل الظهري وموازيان له

٢- ينثني كل شريط الى الداخل بشكل يشابه الحبل الظهري فيتحولا الى أخدودين طوليين

٣- تنشأ حواجز عرضية على طول كل أخدود تقسمه الى وحدات صغيرة تعرف باسم القطع الميزوديرمية التي تحوي بداخلها جزء من تجويف المعي البدائي يسمى جيب المعي البدائي

٤- تستمر القطع الميزوديرمية في النمو و الانتشاء بين الاكتوديرم و الاندوديرم الى أن تتحول الى قطع ذات تجاويف مستقلة.

- تتكون القطع الميزوديرمية الواحدة تلو الأخرى على جانبي الجسم بدءاً من الأمام الى الخلف

٦- تستمر القطع في النمو الى أسفل على جانبي تجويف الأمعاء حتى يلتقي كل طرف مع الآخر في الخط المنصف البطني أسفل الأمعاء

- تنقسم كل قطعة ميزوديرمية بواسطة حاجز أفقي الى قطعة علوية وقطعة سفلية تحوي كل منهما جزء من تجويف الميزوديرم.

٨- يسمى تجويف القطعة العلوية بالتجويف العضلي أما تجويف القطعة السفلية يعرف بتجويف السيلوم أو التجويف الحشوي.

٩- تتميز القطعة العلوية الى ثلاث قطع:

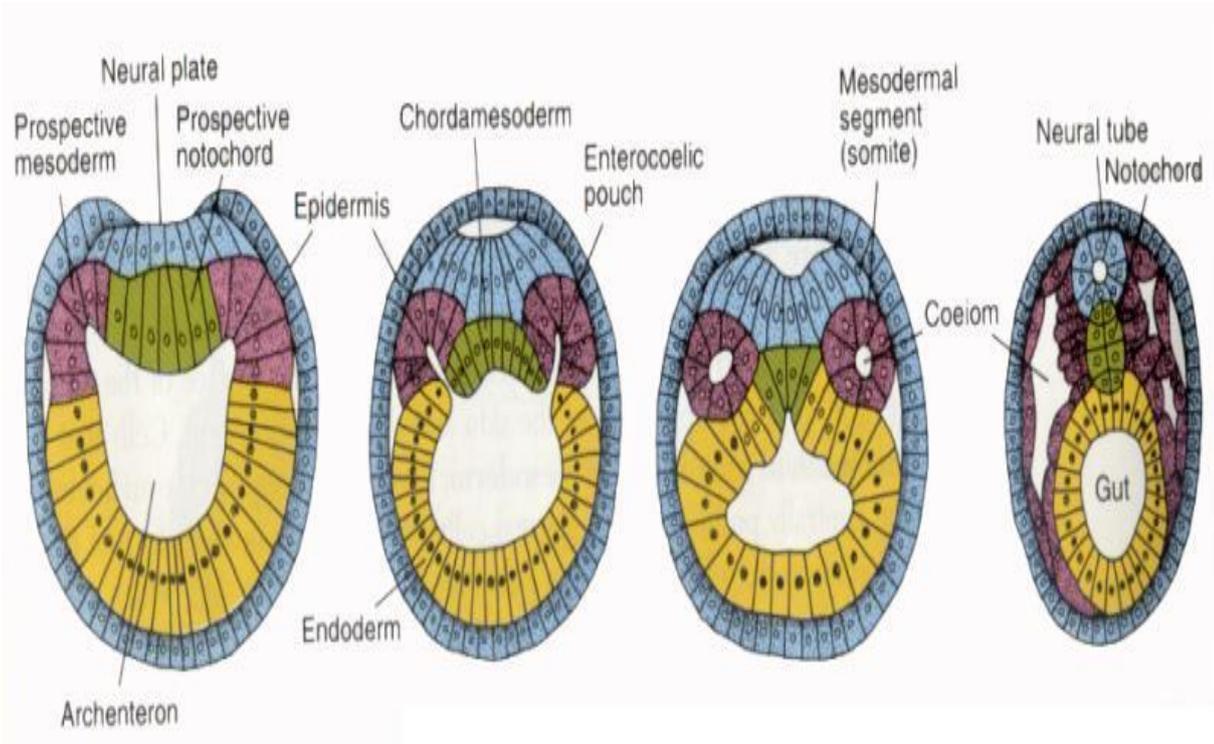
(أ) قطعة هيكلية تكون الغلاف الليفي لحماية الحبل الظهري والأنبوبة العصبية

(ب) قطعة ادمية تبطن طبقة البشرة لتكون في النهاية أدمة الجلد.

١٠- القطع السفلية من الميزوديرم ينقسم بواسطة تجويف السيلوم الى ميزوديرم حشوي و ميزوديرم بشري

١١- يكون الميزوديرم الحشوي مع الاندوديرم جدار حشوي مزدوج (جدار الأمعاء)

أما الميزوديرم البشري يكون مع الاكتوديرم جدار جسمي مزدوج (جدار الجسم).



شكل ١٥: مراحل تكوين الأنبوبة العصبية والتعضي في السهيم

التكوين الجنيني في الضفدعة

Embryonic Development of Toad

ينتمي حيوان الضفدعة تصنيفياً إلى شعبة الحبلديات، شعبة الفقاريات، طائفة البرمائيات والتي تعد واحدة من النماذج الأساسية لدراسة التكوين الجنيني لما تتميز به بأن لها نمطين من الحياة ، حيث تتنفس بواسطة الخياشيم أثناء تكوينها الجنيني في طور اليرقي ، بينما تتنفس بواسطة الرئتين عند اكتمال نموها . الجنسين فيها منفصلان. نوع البويضة متوسطة المح أو طرفية المح حيث ينتظم بيض الضفدعة في اشربة من مادة جيلاتينية والإخصاب يكون خارجي ونوع التفليج كامل غير متساوي نظراً لتركز كمية المح في القطب الخصري من بويضة الضفدعة (شكل ١٦).



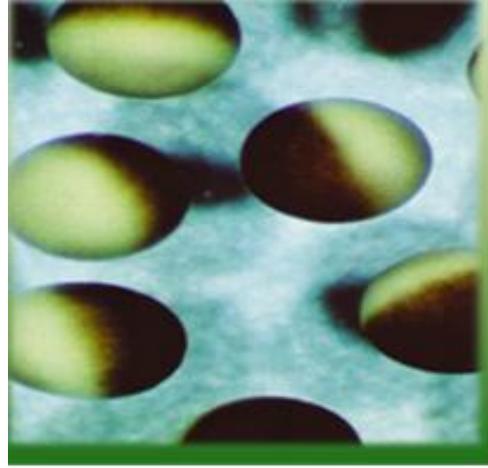
شكل ١٦: بويضة الضفدعة متوسطة او طرفية المح

Egg ribbon

Fertilized egg

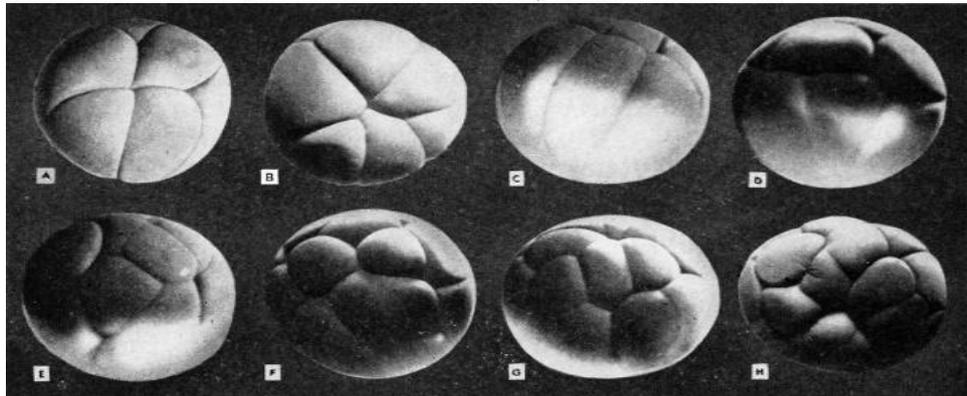
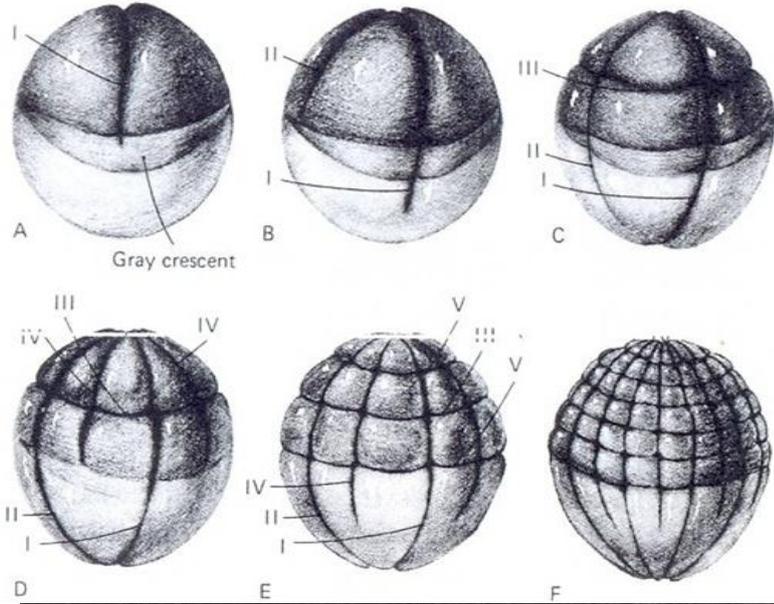
التفاح في الضفدعة

يبدأ الانقسام الأول من القطب الحيواني ويمتد الى القطب الخصري وهو انقسام طولي



وينتج عنه فلجتان متساويتان. الانقسام الثاني طولي ايضا وعمودي على الانقسام الأول ويعطي ٤ فلجات متساوية. الانقسام الثالث افقي بعيد عن المحور اقرب الي القطب الحيواني ينتج عنه ٨ فلجات ٤ صغيرة (micromeres) ناحية القطب الحيواني و ٤ فلجات كبيرة (macromeres) ناحية القطب الخصري. الانقسام الرابع عبارة عن شقان طوليان ويعطي ١٦ فلجة مرتبة في صفين كل صف يحتوي

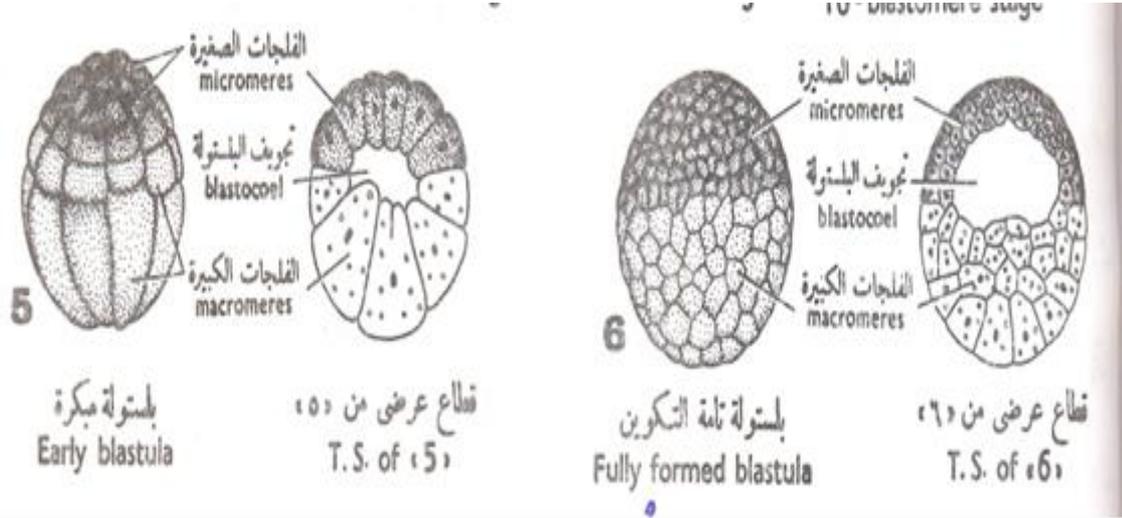
على ٨ فلجات. الانقسام الخامس عبارة عن شقين مستعرضين موازيين للانقسام الثالث وينتج عنه ٣٢ فلجة مرتبة في ٤ صفوف في كل صف ٨ فلجات ويعرف هذا الطور بالتوتية (morula) شكل (١٧). تتابع الانقسامات لتعطي مرحلة البلاستولة (blastula).



شكل ١٧: التفج في الضفدعة

تركيب البلاستولة في الضفدعة:

عبارة عن كرة جوفاء من الخلايا من الخلايا. يتكون جدارها من طبقة واحدة عبارة عن صفين أو أكثر من الخلايا عند القطب الحيواني و ٤ صفوف أو أكثر من الخلايا عند القطب الخضري. تجويف البلاستولة طرفي أو علوي اقرب الي القطب الحيواني شكل (١٨).



شكل ١٨: مراحل تكوين البلاستولة في الضفدعة

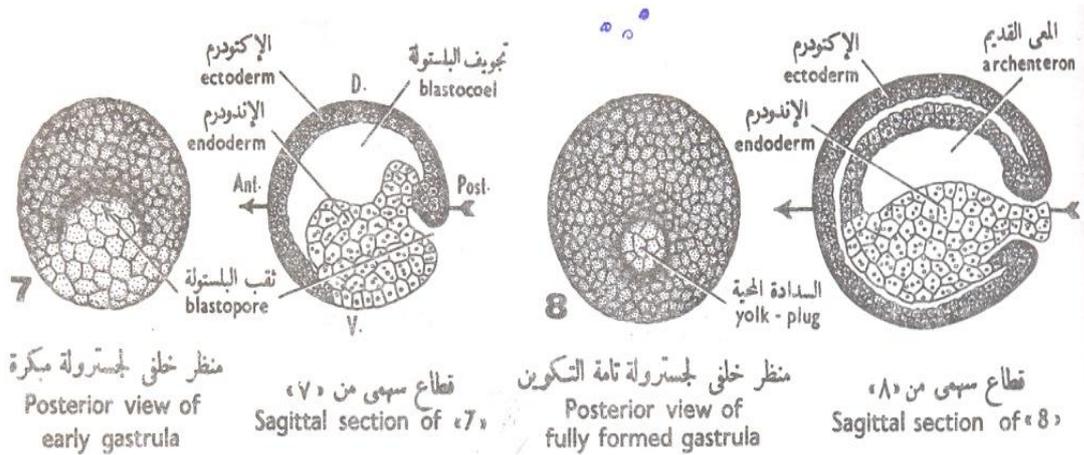
التبطين في البرمائيات (تكوين الجاسترولا)

تحتوي خلايا القطب الخضري على كمية كبيرة من المح فتسبب عائقا يمنع انغماد الخلايا الى الداخل كما تعوق عمليات الانقسام السريع لها. يبدأ تكوين الجاسترولة بظهور حز او شق بين خط الوسط والقطب الخضري للبلاستيولة ويعرف هذا الشق بالشفة الظهرية.

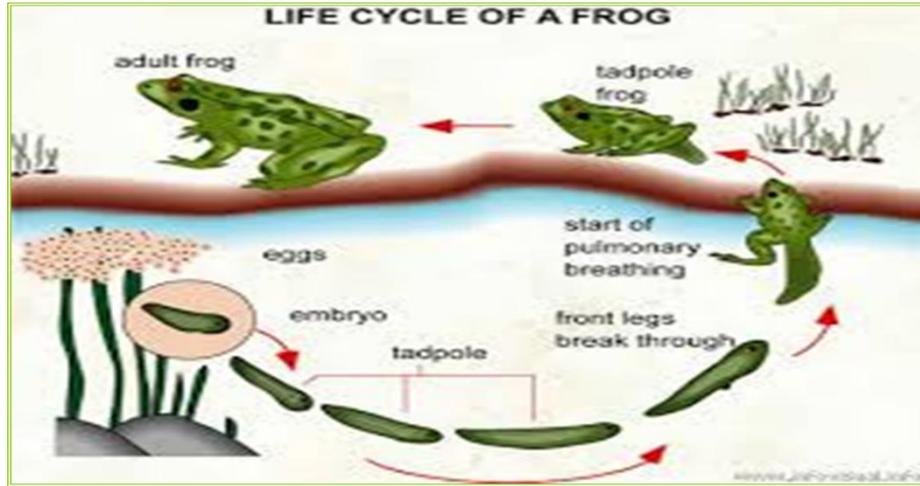
تنقسم خلايا نصف الكرة الحيواني بسرعة (نظرا لاحتوائها على كميات قليلة من المح) فيزداد عددها وتزحف في اتجاه هذا الشق ثم تنغمد الى الداخل لتكون طبقة داخلية. يوجد عاملان يساعدان على انغماد الخلايا الى الداخل هما: ١- قوة سحب داخلي مستمرة ٢- قوة دفع خارجي ناتجة عن زيادة عدد الخلايا الى أن تتكون طبقة داخلية تبطن الطبقة الخارجية من الداخل في نصف الكرة الحيواني. في الجهة المقابلة

للشفة الظهرية تنقسم خلايا القطب الحيواني وتترايد في العدد وترحف فوق خلايا نصف الكرة الخصري وتنمو عليه.

مع بداية انغماد الخلايا الى الداخل يتكون تجويف صغير بين الخلايا المنغمدة وخلايا نصف الكرة الخصري ويعرف هذا التجويف بتجويف المعى البدائي (تجويف الجاسترولة). كلما زاد عدد الخلايا المنغمدة يزداد حجم تجويف المعى البدائي ويقل تجويف البلاستولة. في الجهة المقابلة للشفة الظهرية يستمر زحف خلايا القطب الحيواني فوق خلايا نصف الكرة الخصري مكونة الشفة البطنية لثقب الجاسترولة. تزداد الشفة الظهرية في الطول والانحناء الى اسفل من كلا طرفيها مكونة شكلا هلاليا ثم نصف دائري ثم دائرة كاملة هي ثقب الجاسترولة. يزدحم عند ثقب الجاسترولة عدد من الخلايا المحية التي توجد في القطب الخصري فتكون ما يعرف باسم السداة المحية. بعد تمام عمليه التبطين تتحول البلاستولة ذات الطبقة الواحدة من الخلايا إلى جاسترولة ذات طبقتين (الخارجية قاتمة اللون وهي الاكتوديرم أما الداخلية فهي الانوديرم والميزوديرم اللذان لم يتميز عن بعضهما (شكل ١٩).



شكل ١٩: مراحل تكوين الجسترولا في الضفدعة



شكل ٢٠ : دورة حياة الضفدعة

التكوين الجنيني للزواحف والطيور

هناك بعض الاختلافات التي تميز بين طائفتي الأسماك والبرمائيات عن بقية الفقاريات العليا (الزواحف والطيور والثدييات) مثل الظروف البيئية والمعيشية لكل منهما، الإخصاب يكون خارجيا في البرمائيات والأسماك بينما يكون داخليا في الزواحف والطيور والثدييات.

- يحيط بجنين الزواحف والطيور والثدييات غشاء الرهل لذلك تعرف بالرهليات ويغيب هذا الغشاء في أجنة البرمائيات والأسماك

- تنمو أجنة الزواحف والطيور داخل البيضة ووجود الأغشية الجنينية يعوضها الوسط المائي الموجود للأسماك والبرمائيات.

- البويضة (صفر البيضة أو المح): هي الخلية الجنسية وتكون ممتلئة بالمح حيث ينحصر السيتوبلازم فيها الى جزء بسيط أعلى المح يعرف بالسيتوبلازم النشط أو القرص الجرثومي (germinal dis) حيث توجد به النواة احادية المجموعة الكروموسومية (ن). يصنع المح في كبد الأم ثم ينتقل عن طريق تيار الدم الى الخلايا الحويصلية التي تحيط بالبويضة في المبيض .

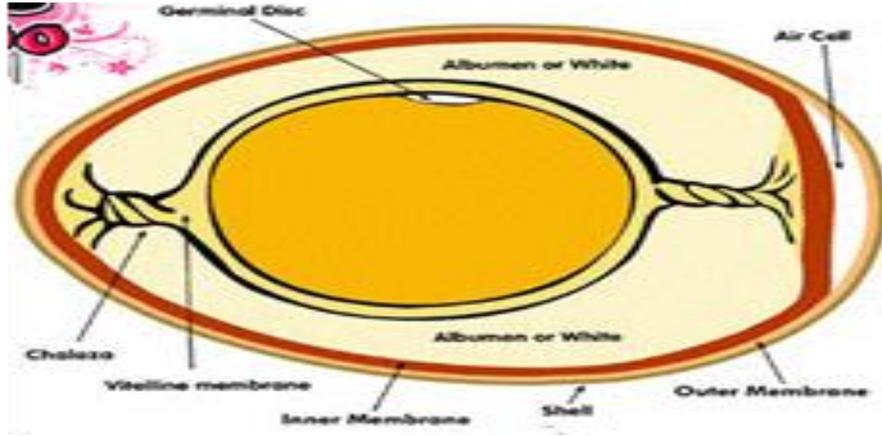
- البيضة (البويضة والألبومين والأغشية) تتركب البيضة في كل من الزواحف والطيور من البويضة وهي صفار البيض حيث يتم تخزين المح (Yolk) في البويضة وهي في المبيض بعد خروج البويضة من المبيض الى قناة البيض يضاف عليها الأغشية البيضية الزلال (بياض البيضة) أو الألبومين (Albumin) ثم الغشائين القشريين الرقيقين ويوجد فراغ هوائي بين الغشائين عند النهاية الطرفية للبيضة ثم القشرة الكلسية وهي مسامية تسمح بتبادل الغازات مع أغشية الجنين. والبيض يكون مختلف الأحجام ويأخذ اللون الأبيض أو المنقش بالأسود أو بني وتحتضن الطيور البيض لعدة ايام حتى يفقس شكل (٢١).

التطور الجنيني في الطيور

Embryonic Development Aves

بعد الأخصاب وتكون نواة اللاقحة (الزيجوت) تدخل البويضة مرحلة التفجج والإنقسامات الخلوية. التفجج في الطيور قرصي (Discoidal) نظرا لوجود كمية مح كبيرة في بويضات الطيور لا تمر مستويات التفجج بالمح ويقتصر التفجج على منطقة السيتوبلازم من البويضة حيث يحدث التفجج في السيتوبلازم النشط (القرص الجرثومي).

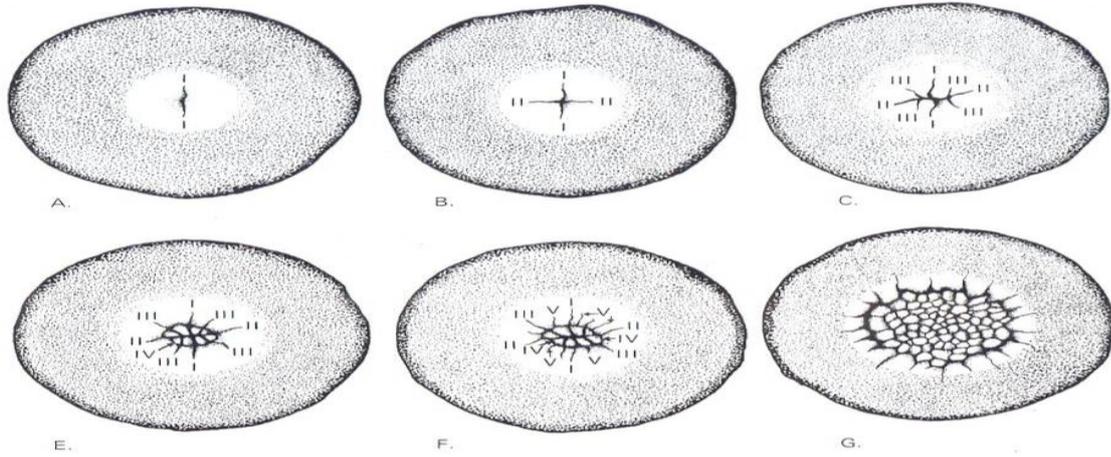




شكل ٢١: بيضة الطيور

التفلج في الطيور

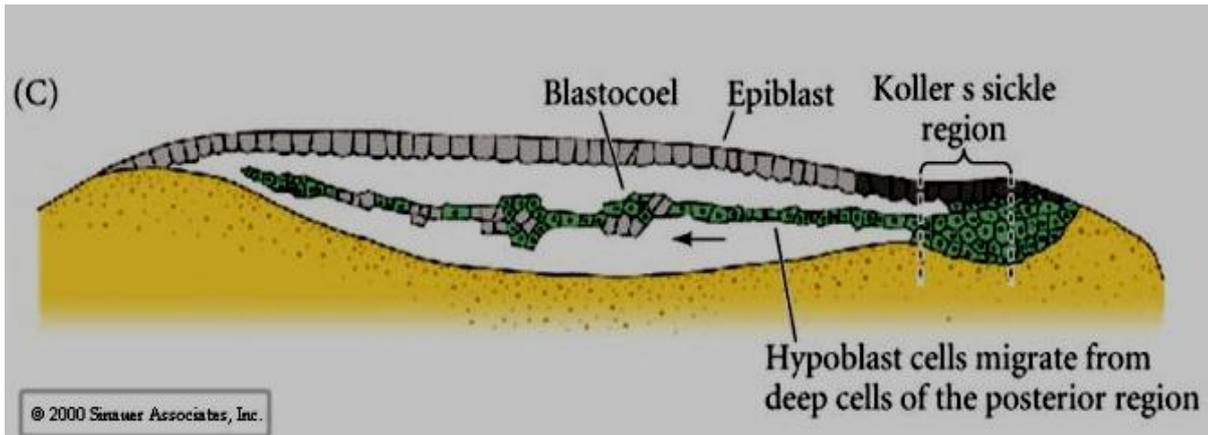
التفلج الأول عبارة عن شق في وسط القرص الجرثومي يقسمه دون ان يقطعه للأسفل وتتكون الفلجتين دون حدود خلوية سفلية. التفلج الثاني أيضا عبارة عن شق عمودي على الشق الأول ويقسم القرص الجرثومي الى اربع فلجات أو خلايا غير كاملة. التفلج الثالث عبارة عن شقين متوازيان عموديان على الشق الثاني وبذلك تتكون ثمان فلجات غير مكتملة الأغشية السفلية. التفلج الرابع عبارة عن شقين على التفلج الثالث ليقسم القرص الجرثومي الى ١٦ فلجة. ثم تتوالى التفلجات لتكون التوتية (Morula). والتوتية عبارة عن كتلة من الخلايا ، الوسطية منها صغيرة ومحددة بينما الخلايا المحيطة تكون مسطحة وأكبر حجما ومتصلة بالبح من أسفل ثم تتكون



شكل ٢٢: التفلق وتكوين البلاستولا في الطيور

تركيب البلاستولة في الطيور:

تتكون البلاستولة نتيجة انفصال المنطقة الوسطية من الأدمة الجرثومية عما تحتها من المح، يظهر نتيجة لهذا الانفصال تجويف وسطي يطلق عليه بتجويف او البلاستولة او التجويف تحت الجرثومي. وتعرف المنطقة التي في مركز القرص الجرثومي أعلى تجويف المفلجة بالمنطقة المضيئة (Area pellucida) بينما المنطقة المحيطة بها والتي تتركز على المح تعرف بالمنطقة المعتمة (Area opeca) وفي النهاية تتكون البلاستولة وهي عبارة عن صفيحة مفلطحة من الخلايا مكونة من طبقتين، طبقة علوية (Epiblast) وطبقة سفلية (Hypoblast) بينهما تجويف البلاستولة او التجويف تحت الجرثومي شكل (٢٣).



شكل ٢٣: مراحل تكوين البلاستولا في الطيور

التكوين الجنيني في الثدييات

Embryonic Development of Mammals

انواع الثدييات من حيث طريقة تكوينها الجنيني :

١- الثدييات البدائية او البيوضة Prototheria

فهي الثدييات التي تضع بيض ولا تلد وتشبه طريقة تكوينها الجنيني الطيور والزواحف ، ولأجنتها نفس الأغشية الجنينية الموجودة حول جنين الطيور مثل آكل النمل.

٢- الثدييات الكيسية (Marsupials (pouched mammals) or

Metatheria)

وهي التي تلد جنين غير مكتمل النمو ويكمل نموه في كيس على الجهة البطنية للأم مثل الكنغر.

٣- الثدييات الحقيقية او المشيمية Eutheria or Placental Mammals

بويضاتها قليلة المح او نادرة المح ويعتمد الجنين في تغذيته على الأم حيث يتعلق في بطانة الرحم بواسطة المشيمة وهي مصدر تغذية في الرحم وتخلصه من المخلفات والفضلات. وتشمل معظم الثدييات من القوارض الى ذوات الحافر حتى الإنسان.

انواع الرحم في الثدييات :

١- الرحم البسيط (Simple uterus): يتكون من غرفة واحدة (كما في الرئيسيات والأنسان) شكل (٢٤).

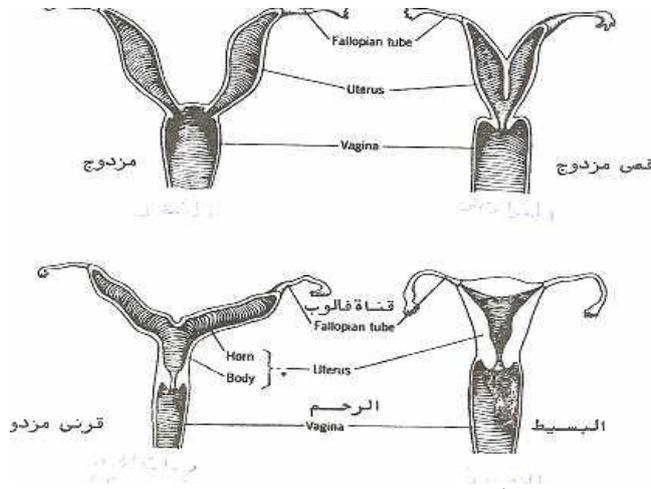
٢- الرحم المزدوج (Duplex uterus): يتكون من انبويتين منفصلتين تماما كما في الكيسيات ومثالها الكنغر.

٣- الرحم الفصي المزدوج (Bipartite uterus): عبارة عن فصين منفصلين لكن يفتحان بفتحة واحدة في المهبل كما في القوارض.

٤- الرحم القرني المزدوج (Bicornate uterus): يتكون من فرعين ملتحمين قليلا قبل ان يتحدان بفتحة واحدة بالمهبل كما في نوات الحافر وآكلات اللحوم.

التبويض والإخصاب والتفلج في الثدييات

التبويض: تعتبر البويضة هي أكبر خلية إنسانيه إذ يبلغ قطرها ٢٠٠ ميكرون وتحتوي



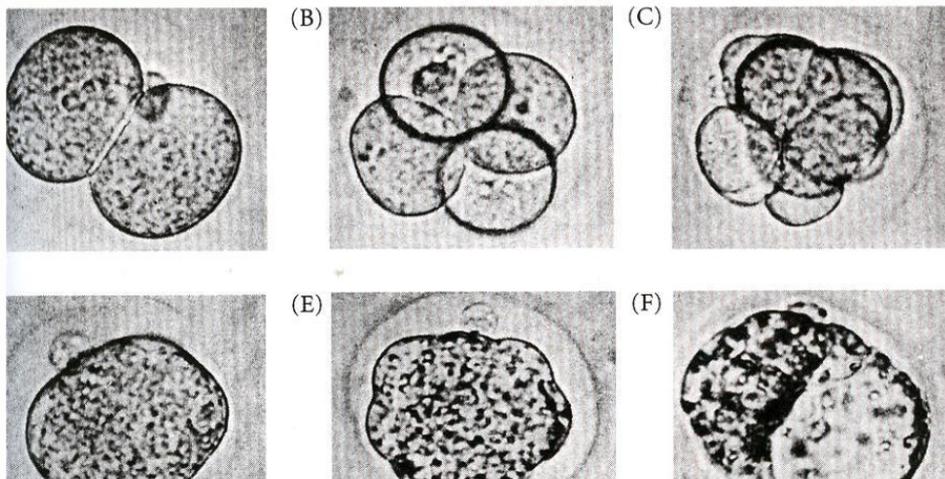
شكل ٢٤: أنواع الرحم في الثدييات المختلفة

على نصف عدد الكروموسومات الجنسية وتتكون في المبيض. حيث تقترب البويضة من جدار المبيض في وسط حويصلة جراف ثم ينفجر الجزء الملاصق للجدار وتخرج البويضة محاطة بتاج بديع من الخلايا (corona radiata) ويسبقها سائل الحويصلة اللزج ليكون مشابه لللبساط الذي يمهد لها الوصول لأهداب قناة فالوب والتي تتحرك

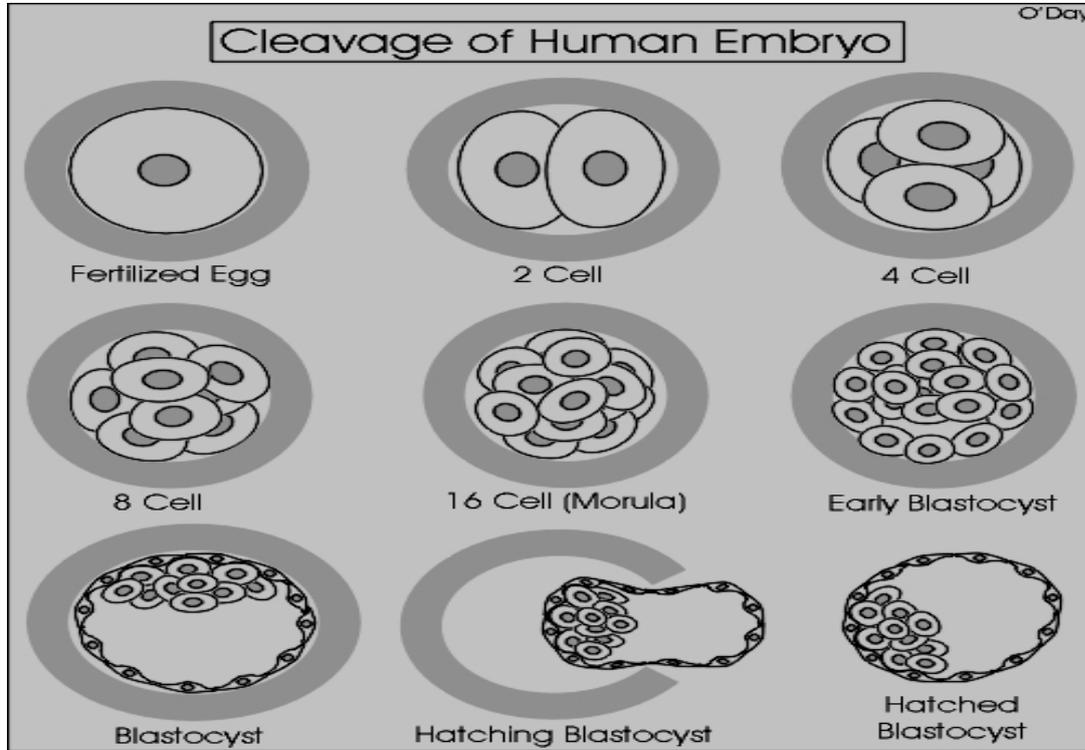
هي أيضاً لإلتقاطها. ويعد ذلك تنبيها لها لتتقسم انقسامها الاختزالي الأول وتعطي الخلية البيضية الثانوية والجسم القطبي الأول.

الإخصاب : بعد خروج البويضة من المبيض تلتقطها أهداب قناة البيض وتدفعها دفعا هينا بواسطة أهدابها إلى الثلث الأول منها ولا تنقسم انقسامها الاختزالي الثاني إلا بعد اختراق الحيوان المنوي لها وتبقى في انتظار هذا الحيوان المنوي يوما كاملا. وتلتقي البويضة بالحيوان المنوي في الثلث الأول من قناة البيض في منطقة القارورة أو الأمبولة (Ampulla) حيث يتم الإخصاب فتكمل البويضة الثانوية الإنقسام الأختزالي الثاني لتعطي الجسم القطبي الثاني والبويضة الناضجة التي تلتحم نواتها مع نواة الحيوان المنوي لتتكون اللاقحة او الزيجوت لتعطي أول خلية للجنين والتي تبدأ التفلج داخل قناة البيض.

التفلج وبعد ٢٤ ساعة تكمل التفلج الأول لتعطي طور الخليتين وبعد ٣٦ ساعة تقريبا تنقسم لتعطي طور اربع خلايا ثم بعد ٤٨ ساعة من الإخصاب تكون طور ٨ خلايا ثم طور ١٦ خلية ثم طور ٣٢ خلية ثم التوتية بعد ٧٢-٩٦ ساعة من الإخصاب ثم البلاستولة شكل (٢٥).



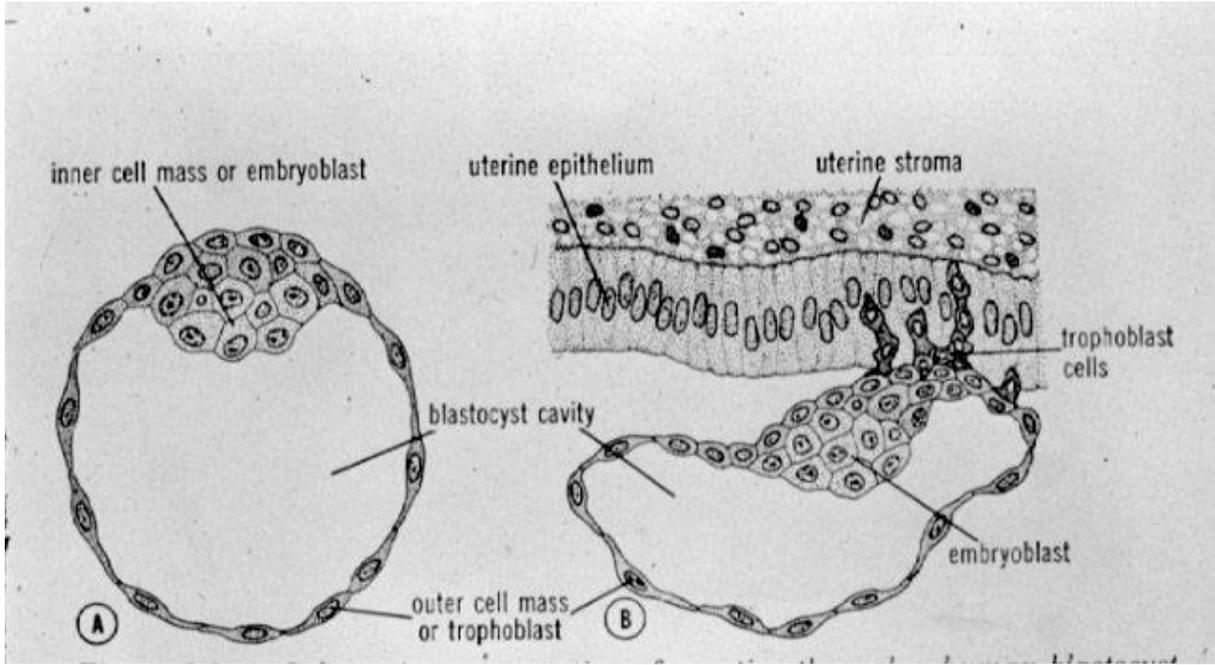
شكل ٢٥: التفلج وتكوين البلاستولا في الثدييات



شكل ٢٦: رسم تخطيطي يوضح التفليج وتكوين البلاستولا في جنين الانسان

تركيب البلاستولة في الثدييات

تتكون المفلجة من النسيج الغذائي (Trophoblast) والذي يعمل على تغذية الجنين وانغراسه في بطانة الرحم كما يعمل على المساهمة في تكوين المشيمة فيما بعد مع بطانة الرحم. ويحيط النسيج الغذائي بكتلة الخلايا الداخلية (Inner Cell Mass) (ICM) والتي يتكون منها جسم الجنين والتي تأخذ موقعا جانبيا في المفلجة. كما تحتوى المفلجة على تجويف المفلجة او البلاستولة (Blastocoel) شكل (٢٦).



شكل ٢٧: قطاع عرضي في بلاستولة الثدييات

شكل ٢٨: انغراس الجنين في الرحم

الإنغراس في الرحم وفي نهاية اليوم ٤-٥ تدخل طور المفلجة أو البلاستولة منطقة الرحم حيث تبدأ خلايا المفلجة تخرج من الغشاء الشفاف الذي كان يحيط بها طوال مرحلة التفلق فتعرف هذه المرحلة بفقس المفلجة (Hatching of Blastula) وتبدأ خلاياها تنغرس في بطانة الرحم خلال اليوم ٥-٧ أو أكثر. شكل (٢٧-٢٨).

المشيمة: Placenta

المشيمة عبارة عن تركيب نسيجي يتكون من أنسجة رحم الأم والأنسجة الجنينية ، وهي غزيرة بالأوعية الدموية تعمل على تعلق الجنين بالرحم وتغذيته وتمده بالأكسجين ويتم التخلص من المواد الإخراجية للجنين عن طريقها . ولا يحدث أبدا ان تختلط الدورة الدموية للجنين مع الدورة الدموية للأم بل تعمل أنسجة المشيمة كحاجز بينهما حيث ترشح المواد الغذائية والأكسجين من دم الأم الى المشيمة ثم الى دم الجنين بينما ترشح المواد الإخراجية من دم الجنين الى المشيمة ثم الى دم الأم.

فترات الحمل في بعض الثدييات

الحيوان	فترة الحمل
الفأر	٢١ يوم
الجرذ	٢٢ يوم
الأرنب	٣٤ يوم
الكلب	٦٣ يوم
الماعز	١٤٧ يوم
الإنسان	٢٧٠ يوم
الغزال	١٥٠-٣٠٠ يوم
الحصان	٣٣٠ يوم
الجمل	٣٩٠ يوم
الفيل	٦٢٠ يوم

الأغشية الجنينية

الأغشية الجنينية عبارة عن تراكيب إضافية جديدة تظهر على التكوين الجنيني للطيور والزواحف والثدييات حيث يحيط أول غشاء بالجنين ويعرف بغشاء الرهل أو الأمنيون (Amnion) لذلك تسمى بالرهليات. ويتكون حول الجنين أربع أنواع من الأغشية شكل (٣٠).

١- غشاء الرهل (Amnion membrane): يتكون هذا الغشاء اثناء تكوين الثنيتين الرهليتين الأمامية والخلفية تتألف من طبقة الأكتوديرم والميزوديرم الجسمي حيث تلتحم هذه الثنيتين فوق الجنين. ويعمل غشاء الرهل على وقاية الجنين من الصدمات اثناء التقلب والحركة حيث يفرز فيه سائل يعرف بالسائل الرهلي أو الأمنيوني.

٢- غشاء الكوريون: (Chorion membrane):

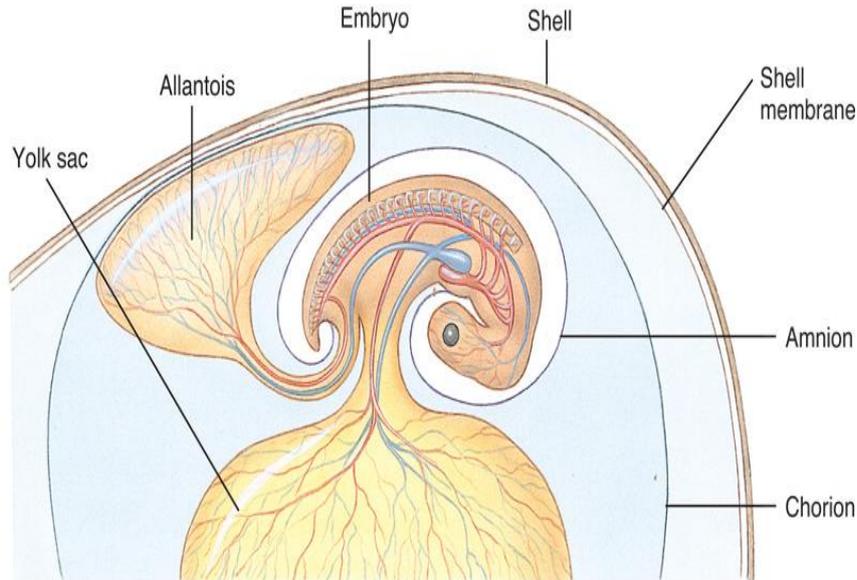
يتكون غشاء الكوريون اثناء التحام الثنيتين الرهليتين ولكن الى الخارج من الجنين فتحيط بالغشاء الرهلي فيما بعد. ويعمل غشاء الكوريون على تبادل الغازات بين أوعية الجنين ومسامات القشرة للبيضة

٣- غشاء كيس المح: (Yolk sac membrane):

يتكون غشاء كيس المح من الأندوديرم والميزوديرم الحشوي حيث يحيط بالمح وتعمل خلايه على هضم المح ثم نقله عن طريق الأوعية الدموية الى باقي اجزاء الجسم.

٤- غشاء الألتويس: (Allantoise membrane):

يتكون الألتويس كبروز في الجهة الخلفية السفلية للجنين على شكل كيس يتكون من طبقتين الأندوديرم والميزوديرم. وهو يعمل بمثابة المثانة الأخرافية للجنين وتخزن به المواد الإخراجية للجنين .



شكل ٢٩: الأغشية الجنينية

تعدد المواليد والتوائم

تعدد المواليد

تتميز كثير من الثدييات بأنها تضع اكثر من مولود في المرة الواحدة وتعرف هذه الظاهرة بتعدد المواليد كما في القوارض وأكلات اللحوم والخنزير. وتعدد المواليد أو الأجنة ينتج من تبويض اكثر من بويضة خلال الدورة التناسلية للأنثى وتلقح كل بويضة بحيوان منوي واحد حيث تتوزع هذه الأجنة داخل جدار الرحم.

التوائم :

يطلق مصطلح التوائم على الثدييات التي غالبا تعطي جنين واحد خلال فترة كل حمل فإذا اعطت اكثر من مولود تعتبر توئم كما في الإنسان والأغنام والتوائم اما ان تكون غير متشابهة او متشابهة.

انواع التوائم

١- التوائم غير المتشابهة Dizygotic twins

التوائم غير المتشابهة هي تشبه متعدّدات المواليد اي ان هناك اكثر من بويضة خرجت من المبيض خلال الدورة التناسلية للأنثى ثم اخصبت كل بويضة بحيوان منوي لذلك تعرف بالتوائم ثنائية الزيجوت (Dizygotic twins) ، وقد يكون التوائم من نفس الجنس او قد يكونا من جنسين مختلفين (انثى وذكر) لذلك لا يكونان متشابهان، ويمكن عمل التوائم غير المتشابهة بتنشيط المبايض بواسطة الهرمونات التناسلية (FSH,LH) لكي تعطي اكثر من بويضة.

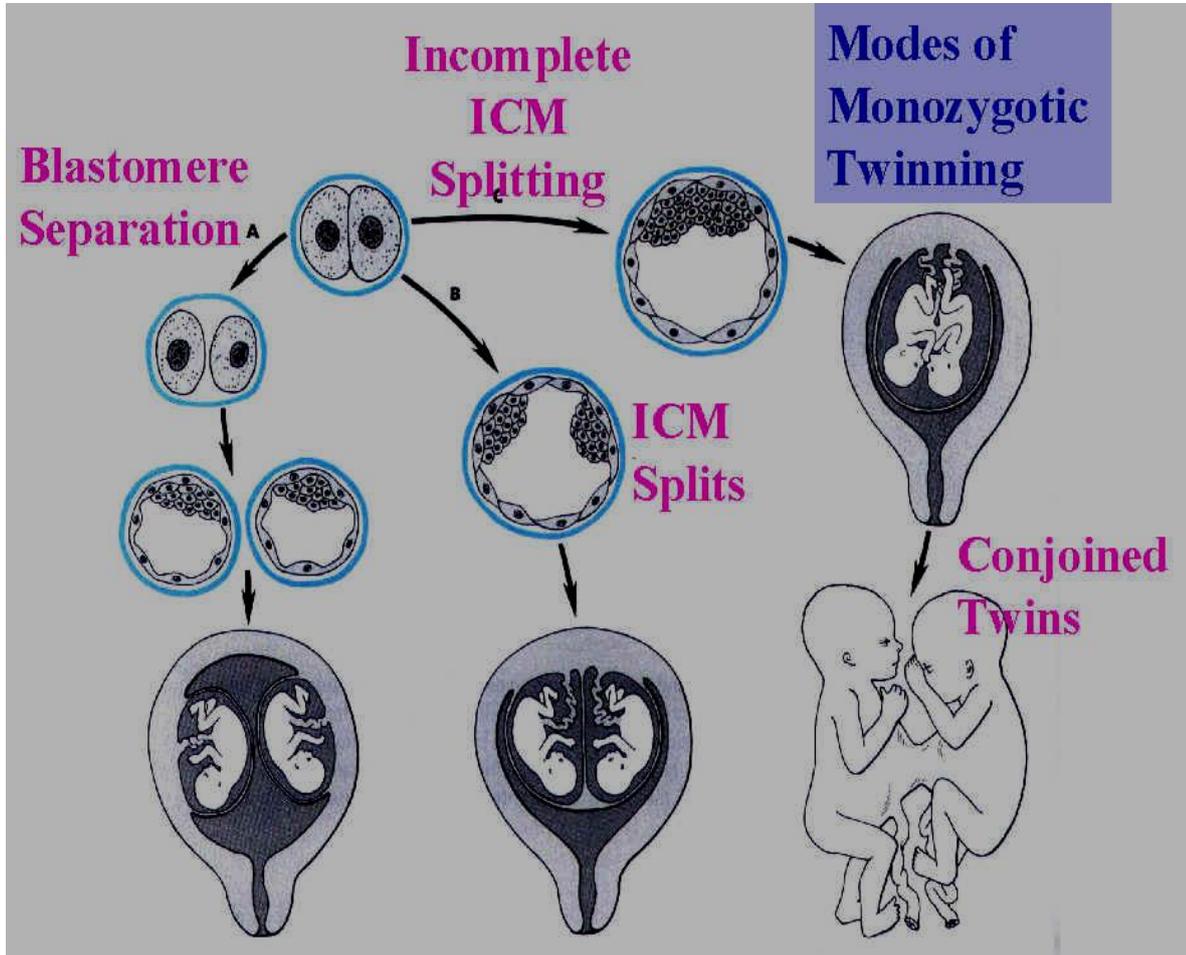
٢- التوائم المتشابهة أو المتطابقة Monozygotic or identical twins

التوائم المتشابهة تنتج من بويضة واحدة اخصبت بحيوان منوي واحد لكن هذه البويضة خلال مراحل تكوينها انفصلت الى اكثر من جنين وكل جزء كون جنين كامل ، لذلك فهي تكون متشابهة تماما ومن نفس الجنس. لذلك تعرف احيانا بالتوائم احادية الزيجوت (Monozygotic twins).

وتبعاً لذلك قد تكون لكل جنين مشيمة إذا كان انفصال الجنين في مراحل مبكرة من التفلق مثلاً في طور الفلجتين وانفصلت كل خلية وكونت جنين مستقل. أما إذا كان الانفصال في طور البلاستيتولا فإن التوائم تكون ذات مشيمة واحدة أو مشتركة مع احتفاظ كل جنين بغشاء رهل خاص به.

عند حدوث الانفصال في مرحلة متأخرة كالتالي تحدث في مرحلة القرص الجرثومي (Germinal disc) فإن ذلك يؤدي إلى تكوين جنينين محاطان بغشاء رهلي واحد ، أو يكون الانفصال غير كامل الأمر الذي قد يؤدي إلى تكوين توائم ملتصقة أو التوائم السيامية (Conjoined or Siamese twins) وذلك لأن الانفصال لم يكن تام بين الجنينين وقد يشتركان في أجزاء من الجسم .

وأحياناً يكون الانفصال في أجزاء من الجنين مثلاً في مقدمة الرأس أو في المؤخرة أو جزء من الجنين كالأطراف ويبدد المولود كجزء من جنين يكون محمولاً بجوار المولود الآخر فتعرف بالتوائم الطفيلية (Parasitic twins) وهي نتيجة عدم اكتمال تكوين أحد التوأمين شكل (٣١) .



شكل ٣٠: أنواع التوائم احادية الزيجوت

الحقن المجهري واطفال الأنابيب (IVF (In Vitro Fertilization)

اطفال الأنابيب "test-tube baby" هو إخصاب البويضة بالحيوان المنوي في أنبوب الاختبار وفي حاضنات خاصة ذات وسط ملائم لنموها حتى تتكاثر لمرحلة معينة (من ٢-٥ أيام وبعدها تعاد البويضة الملقحة (الأجنة) إلى الرحم. وهذه الطريقة تُعطى الخيار الأفضل لاختيار أفضل الأجنة لنقلها إلى الأم بعد إخصابها خارج الرحم.

عادة ما يلجأ إلى هذه التقنية من العلاج لعدة أسباب تعود إلى أحد الزوجين، مثل حالات انسداد قناة فالوب، بعض حالات تكيس المبيضين المستعصي على العلاج بالطرق الدوائية وحالات مرض البطانة الرحمية، ضعف حركة الحيوانات المنوية ووجود

نسبة تشوهات عالية، ايضا في حالات الامراض الوراثية الجينية وذلك لاستثناء الاجنة التي تحمل خلل وراثي وهذا ما يسمى بالفحص الجيني قبل الزراعة.



شكل ٣١: الحقن المجهري

الاستنساخ

الاستنساخ هو إنتاج مجموعة من الكائنات الحية لها نسخة طبق الأصل من المادة الوراثية والتي تحدث في الطبيعة عندما تقوم كائنات حية كالبكتيريا، الحشرات أو النباتات بالتكاثر بدون تزاوج. أما في مجال التكنولوجيا الحيوية (البيوتكنولوجي) فهو العملية المستخدمة لنسخ أجزاء من الحمض النووي DNA، خلايا، أو كائنات حية.

أنواع الاستنساخ

١- الاستنساخ الجيني

ويهدف إلى الحصول على كمية كبيرة من جين معين بغرض دراسته ، ويتم عبر إدخال الجين الذي يراد استنساخه من كائن حي معين إلى المادة الجينية لخلية تدعى "فيكتور" والتي قد تكون خلية بكتيرية أو فطريات أو فيروسات. ثم يتم وضع هذا الفيكتور بالمختبر في ظروف مناسبة مما يؤدي إلى تكاثره، وبالتالي استنساخ كمية كبيرة من المادة الجينية المرغوبة.

٢- الاستنساخ العلاجي

يستعمل الاستنساخ العلاجي البويضة كمصدر لإنتاج الخلايا الجذعية Stem cells وهي خلايا تملك قدرة غير محدودة على التكاثر والتمايز لأي نوع من الخلايا، والأنسجة والأعضاء والعظام والعضلات والأعصاب. و يؤدي هذا التطور العلمي الحالي إلى ثورة في مجال الطب بتطوير هذه الخلايا الأساسية الجنينية لتنمية أنسجة وأعضاء بشرية متخصصة تستخدم في عمليات زراعة الأعضاء. وتستخدم في تحقيق تقدما كبيرا في علاج الكثير من الأمراض المزمنة والمستعصية كمرض الرعاش (باركنسون) والخرف (الزهايمر) واستبدال القلب والشرايين التالفة او لإنتاج خلايا جزر البنكرياس لعلاج السكر. فهذه التقنية ستنتج أنسجة لا يرفضها جسم الإنسان من خلال أخذ الحامض النووي من المريض واستخدامه للحصول على جنين مستنسخ.

٣- استنساخ الاجنة

ويستخدم لإستنساخ حيوانات بأكملها، وذلك عبر الخطوات التالية:

١- اخذ المادة الوراثية من نواة خلية جسدية من جسم الحيوان الذي يرغب في إستنساخه، مثل خلية جلد أي تحتوي على عدد كامل للكروموسومات (somatic cell nuclear transfer) (SCNT)

٢- يتم أخذ بويضة وتفرغها من المادة الوراثية، أي أنها لا تحتوي على النواة التي بها الكروموسومات.

٣- يتم إدخال المادة الوراثية من الخلية البالغة إلى البويضة الفارغة، ويتم ذلك عبر حقنها أو إستخدام تيار كهربائي لدمج الاثنتين معاً.

٤- تزرع البويضة الجديدة بالمختبر في أنبوب إختبار ثم يسقط علي الخلية الملقحة شحنات كهربائية لشحن عملية الانقسام كأبي جنين عادي. ثم توضع في محلول ملحي لتتقسم ثم تنقل البويضة إلى رحم أنثى تسمى "الأم البديلة"، لتحمل بها وتلدتها بعد حين. الوليد يحمل نفس المادة الوراثية للخلية الأصلية التي تم إستنساخها. هذه الطريقة

هي التي تم استخدامها لإستنساخ النعجة دوللي. علميا أي حيوان أو إنسان يستنسخ بهذه الطريقة ليس في الحقيقة نسخة مطابقة للام أو الأب الذي اخذ منه النواة. فهناك بعض من المادة الوراثية موجود خارج النواة و هو بالتحديد موجود في داخل البويضة التي أزيل منها النواة.

تطبيقات الإستنساخ:

- ١- استنساخ حيوانات ذات صفات مرغوبة مثل أبقار غزيرة الحليب أو أبقار اللحم.
- ٢- استنساخ حيوانات متطابقة لإجراء اختبارات الأدوية عليها، مما يساعد في الحصول على نتائج متجانسة وواضحة ولا يلعب فيها الاختلاف بين الحيوانات دورا في تشويش نتائجها. يفيد الاستنساخ في مجال البحث العلمي فمثلا انتاج فأر ليكون موديلاً لفأر آخر يعانى من مرض وراثي محدد لإجراء تجارب علاجية وراثية لتحديد أفضل سبل العلاج والتي يمكن تطبيقها على الإنسان.
- ٣- استنساخ الفصائل المهددة بالانقراض من الحيوانات مثل حيوان الباندا. يفيد الاستنساخ في المحافظة على السلالات النادرة سواء كانت نباتية او حيوانية ومعرضة لانقراض بسبب التلوث الصناعى وخوفا من ان تتحمل البشرية اثار الافتقار إلى التنوع البيولوجى Biodiversity الذي قد يعرض البشرية للمخاطر فيقوم الاستنساخ هنا بمهمة لا نجد بديل عنها وهو ما تقوم به الدول المتقدمة وهو ما يعرف بالبنوك الوراثية والتي يتم فيها جمع السلالات والأنواع النادرة وحفظها وإكثارها واستنساخها من اجل الحفاظ على معلوماتها الوراثية والتي تعتبر مصدر لمربى النبات والحيوان للاستفادة منها والأخذ منها في استحداث وتطوير نباتاته وحيواناته من خلال التقنيات الحديثة في التربية كالهندسة الوراثية ونقل الجينات.
- ٤- اكثار الحيوانات المهندسة وراثيا لانتاج العقاقير بمعنى مضاعفة المصانع الحيوية عدديا لزيادة انتاج العقاقير.
- ٥- اكثار التراكيب الوراثية التي اثبتت كفاءتها في انتاج الغذاء للبشر.

الخلايا الجذعية Stem Cells

الخلايا الجذعية وتسمى ايضا الخلايا الجذرية (Stem Cells) وهي خلايا غير متخصصة ولكن يمكنها ان تتمايز الي خلايا متخصصة ، مع تميزها بقدرتها علي الانقسام باستمرار لتجدد نفسها.

أنواع الخلايا الجذعية

تصنف الخلايا الجذعية بناء علي طريقة الحصول عليها الي:

١- خلايا جذعية بالغة.

٢- خلايا جذعية جنينية.

وتتلخص الفروق بينهما في أن الخلايا الجذعية الجنينية لها قدرة اكبر علي التخصص كما انها تنتج إنزيم التيلوميريز والذي يساعدها علي الانقسام باستمرار ، في المقابل الخلايا الجذعية البالغة لا تُنتج هذا الإنزيم إلا بكميات ضئيلة أو على فترات متباعدة مما يجعلها محدودة العمر.

١- الخلايا الجذعية الجنينية Embryonic stem cell

الخلايا الجذعية الجنينية (Embryonic stem cell) وهي الخلايا المستمدة من الكتلة الخلوية الداخلية (ICM) ، وهي الجنين في مراحله المبكرة. وتصل الأجنة البشرية إلى مرحلة البلاستولة بفترة ٤ إلى ٥ أيام بعد التخصيب. وهي خلايا غير متخصصة تمتلك القدرة علي التخصص لاي نوع من الخلايا. ويؤدي عزل الكتلة الخلوية الداخلية (ICM) إلى اتلاف الأجنة البشرية المخصبة. وتتميز الخلايا الجذعية الجنينية بانها متعددة القدرات ولها القدرة علي الانقسام الي أجل غير مسمى.

٢- الخلايا الجذعية البالغة

توجد الخلايا الجذعية البالغة في الاطفال والبالغين علي حد سواء وتتوزع في جميع انحاء الجسم وهي مهمة لتعويضة عن الخلايا التي تموت بشكل طبيعي بعد انتهاء عمرها المحدد . ويقل عدد هذه الخلايا مع تقدم الانسان في العمر.



شكل ٣٢: فصل خلية من التوتية لتشخيص الجنين

مصادر الخلايا الجذعية:

يمكن الحصول علي الخلايا الجذعية من المصادر التالية:

- ١- المشيمة – الحبل السري- السائل الامينوسي ٢- الاطفال والبالغين ٣- الاجنة
- ٤- الفائض من لقائح اطفال الانابيب ٥- الاستنساخ العلاجي. ٦- الدم ونخاع العظام

التمايز العكسي

يعمل بعض الباحثين علي محاولة اعادة الخلايا المتميزة الي اصلها (الخلايا الجذعية) فيم يعرف بالتمايز العكسي ويعد اكتشاف امكانية اعادة خلايا الدم المتميزة

الي اصولها وانتاج خلايا جذعية تتشابه خواصها مع الخلايا التي يتم الحصول عليها من الاجنة من اهم الاكتشافات الحديثة في هذا المجال وتسمى الخلية التي تستحث بهذه الطريقة خلية جذعية مستحثة وافرة القدرة

التشوهات الخلقية (Malformation) Congenital Abnormalities

١- تشوهات كروموسومية: Chromosomal abnormality

-تنتج هذه التشوهات نتيجة تغير في عدد الكروموسومات أو طريقة توزيعه – تمثل الكروموسومات الشاذة حوالي ١٠% من العدد الكلي للكروموسومات. و تؤدي الي التخلفات العقلية Mental Retardation وبعض التغيرات في شكل الجسم. و توجد التشوهات الكروموسومية بنسبة ٥٧% من أجنة السقط خلال الثلاث أشهر الاولى من الحمل.

٢- تشوهات جينية : Genetic abnormality

تمثل حوالي ٢٥% من التشوهات الخلقية وتنتج هذه التشوهات نتيجة خلل أو غياب الجينات مما يؤدي الي عيوب وقصور في الوظائف الخلوية وتصبح واضحة التأثير علي نمو الاطفال بعد ذلك.

٣- تشوهات داخل الرحم نتيجة بعض العوامل البيئية: Intra-uterine injury

by environmental factors

تسبب العوامل البيئية حوالي ١٠% من التشوهات الخلقية ويختلف تأثيرها تبعاً لطبيعة العامل البيئي وفترة الحمل. وقد وجد أن التعرض للعوامل الضارة خلال فترة الاسبوعين بعد الاخصاب تسبب الوفاة ولكن لا تسبب تشوهات خلقية عادة. وأن الفترة من الاسبوع الثالث حتي الثامن (فترة تكون أعضاء الجنين) تسبب تشوهات خلقية . وتسمى العوامل البيئية التي تحدث تشوهات Teratogens ومنها:

١- جرعات الأدوية Drugs

ومنها المهدئات المنشطات وكذلك زيادة أو نقص الفيتامينات أو الهرمونات التي تأخذها الام أثناء الحمل والتي تؤثر علي الوظائف الفسيولوجية وعلي نمو الجنين.

٢- التلوث بالعناصر الثقيلة أو المبيدات الحشرية أو الكيماويات أو الغازات السامة

٣- الاشعاع Radiation

والذي يسبب موت الخلايا أو اتلاف الكروموسومات أو يعوق نمو الخلايا.

٤- الإصابة المرضية للأم Maternal infection

مثل الإصابة بالامراض الفيروسية أو الطفيلية وتؤثر علي الجنين

المراجع

المراجع العربية:

- ١- أحمد حماد الحسيني و إميل شنودة دميان (١٩٩٢): بيولوجية الحيوان العملية (الجزء الأول)- الطبعة الخامسة عشر – دار المعارف -القاهرة.
- ٢- الفريد ف. هوتنر (١٩٦٨): الأساسيات في علم تكوين الجنين للفقاريات- مؤسسة فرانكلين .
- ٣- مني فريد عبد الرحمن (٢٠٠٤): أطلس علم الأجنة ، المكتبة الاكاديمية - القاهرة.

المراجع الاجنبية:

- 1- Bruce M. Carlson (1996) : Patten's foundations of embryology.
sixth edition, The McGraw. Hill Companies, Inc.
- G. S. sandhu, Sharad Srivastava and C.K. Arora (2005): A -١
text book of embryolog. Anmd publications PVT. LTD.
- 3-Scott F. Gilbert (2016): Development Biology, SinSinauer Associates, Inc.Publishers Sunderland, Massachusett. Ninth edition.