مقدمة عامة عن علم الخلية

يعد علم الخلية (Cytology) أحد الفروع الأساسية في العلوم البيولوجية والطبية، ويهتم بدراسة الخلية من حيث تركيبها ووظائفها وعملياتها الحيوية المختلفة. وتُعرف الخلية بأنها الوحدة البنائية والوظيفية الأساسية للكائنات الحية، إذ تتكون جميع الكائنات الحية من خلية واحدة أو أكثر، وتتم داخلها جميع الأنشطة الحيوية الضرورية لاستمرار الحياة.

شهد علم الخلية تطورًا كبيرًا منذ اختراع المجهر، مما أتاح للعلماء فهم التركيب الدقيق للخلية ومكوناتها المختلفة مثل النواة، والميتوكندريا، والشبكة الإندوبلازمية، وجهاز جولجي، وغيرها من العضيات الخلوية. كما ساهم هذا العلم في تفسير العديد من العمليات الحيوية المهمة مثل النمو، والانقسام الخلوي، والتمثيل الغذائي، وانتقال الصفات الوراثية.

وتكمن أهمية علم الخلية في دوره المحوري في مجالات الطب والتشخيص المخبري والبحوث العلمية، حيث يُستخدم في الكشف عن الأمراض المختلفة، بما في ذلك السرطان والالتهابات والاضطرابات الوراثية، من خلال دراسة التغيرات التي تطرأ على الخلايا. لذلك يُعد علم الخلية حجر الأساس لفهم وظائف الأنسجة والأعضاء والكائنات الحية بصورة عامة، مما يجعله من أهم العلوم الحيوية الحديثة.

أولا : مفردات المادة :

- مقدمة في علم الخلية
- تعريف علم الخلية وارتباطه بالعلوم الاخرى
- اشكال واحجام الخلايا
- التركيب العام للخلية
- تركيب الخلايا البدائية النواة
- تركيب الخلايا الحقيقية النواة
- جهاز كولجي
- الجسميات الحالة
- المايتوكوندريا
- البلاستيدات
- الرايبوسومات
- الجدار الخلوي
- الهيكل الخلوي
- الجسيم الحركي
- الفجوات
- النواة
- النوية
- الكروماتين
- الكروموسومات
- المكونات الكيميائية للخلية
- المركبات اللاعضوية
- الماء
- الاملاح والغازات
- الايض
- الانقسام الخلوي
- الانقسام اللاخيطي
- الانقسام الخيطي
- الانقسام الاختزالي

- أنواع الاحماض النووية
- تركيب الحامض النووي RNA
- تركيب الحامض النووي DNA
- الموت المبرمج للخلية
- أهمية الموت المبرمج
- الاليات الجزيئية لمسارات إشارة الموت المبرمج
- المايتوكوندريا كمنظمات مركزية للموت المبرمج
- الخلايا الجذعية
- ماهية الخلايا الجذعية
- أنواع الخلايا الجذعية
- خصائص الخلايا الجذعية
- نشوء الخلايا الجذعية
- طرق الحصول على الخلايا الجذعية
- استخدامات الخلايا الجذعية

ثانيا: المصادر:

- كتاب علم حياة الخلية – تأليف الربيعي ،عباس حسين مغير
- كتاب علم الخلية – تأليف الدكتور شكارة،مكرم ضياء
- Essential Cell Biology
- Karen Hopkin Dennis Bray Bruce Alberts من تأليف
- Keith Martin Raff Julian Lewis Alexander D Johnson
- Peter Walter Roberts
- https://www.ascb.org/

ثالثا: الأهداف :

- **فهم بنية الخلية :** تعرف الطالب على التركيب العام للكائنات الحية ووحدتها الأساسية، وهي الخلية، بما في ذلك العضيات المختلفة ووظائفها .
- **دراسة العمليات الحيوية :** شرح العمليات الخلوية الأساسية مثل التنفس الخلوي، وعبور البروتين، ودورة الخلية .
- **التعرف على أنواع الخلايا :** التركيز على الفروقات بين الخلايا بدائية النوى وحقيقية النوى .
- **فهم الكيمياء الحيوية الخلوية :** التعرف على التركيب الكيميائي للجزيئات الحيوية ودورها في بناء الخلايا ووظائفها .
- **معرفة تقنيات دراسة الخلايا :** تقديم مفاهيم البيولوجيا الجزيئية والتقنيات الحديثة المستخدمة في دراسة الخلايا الحية .
- **فهم التفاعلات الخلوية :** دراسة كيفية تنسيق الخلايا مع بعضها البعض وكيفية تفاعلها مع بيئتها .
- **الربط بين التركيب والوظيفة :** ربط تركيب العضيات ووظائفها في الخلية .

- **التطبيقات في التشخيص والأبحاث** :استكشاف دور دراسة الخلايا في تشخيص الأمراض ومراقبتها وفي الأبحاث العلمية .

* مقـــدمـــــة لعـــلـــــم الخـــــليـــــة : Introduction of Cytology

يعد العالم Robert Hooke اول من اشارة الى مصطلح الخلية Cell عندما فحص قطعة من الفلين فوجد انها تتكون من غرف صغيرة سماها بـ (الخلايا Cells) في عام 1660 . في حين اول من وصف الخلايا في انسجة النبات هو العالم Nathaneil Grew في عام 1672 ، اما العالم Vanleeven Hoek اول من اكتشف وجود البلاستيدات الخضراء عام 1700 . وفي عام 1809 اعلن Lammark ان للخلية وظائف مهمة ، وبين عامين 1838 - 1839 اعلن العالمان الالمـــــــانيان Schwann و Schleiden المتخصصان في عالم الحيوان و النبات بأن الخلية هي وحدة البناء والوظيفة للكائن الحي .

واول من استخدم مصطلح Protoplasm الذي يشير الى محتويات الخلية من قبل العالم Burkinje عام 1840 . اما العالم Voul فقد اكتشف عام 1880 بان البيضة يتم تخصيبها بحيمن واحد فقط .

* عـلـــم الخـــــليـــــة : Cytology

يعد علم الخلية احد فروع علم الحياة الذي يتناول دراسة الخلايا المكونة لجسم الكائن الحي سواء كان احادي الخلية او متعدد الخلايا من حيث الشكل و النوع و التركيب و الوظيفة . كما يتطلب دراسة هذا النوع الماماً واسعاً بعلوم الحياة الاخرى مثل علم الوراثة و الفسلجة والكيمياء الحياتية وعلم الاجنة.

وقد بدأ ظهور هذا العلم مع قيام الاخويين الهولنديين من عائلة Janssen بصنع مجهر ضوئي عام 1590 وتلاهم تاجر الاقمشة الهولندي Vanleeven Hoek الذي كان هاوي صنع العدسات والمجاهر والذي رسم الكثير من الابتدائيات والطحالب والبكتريا.

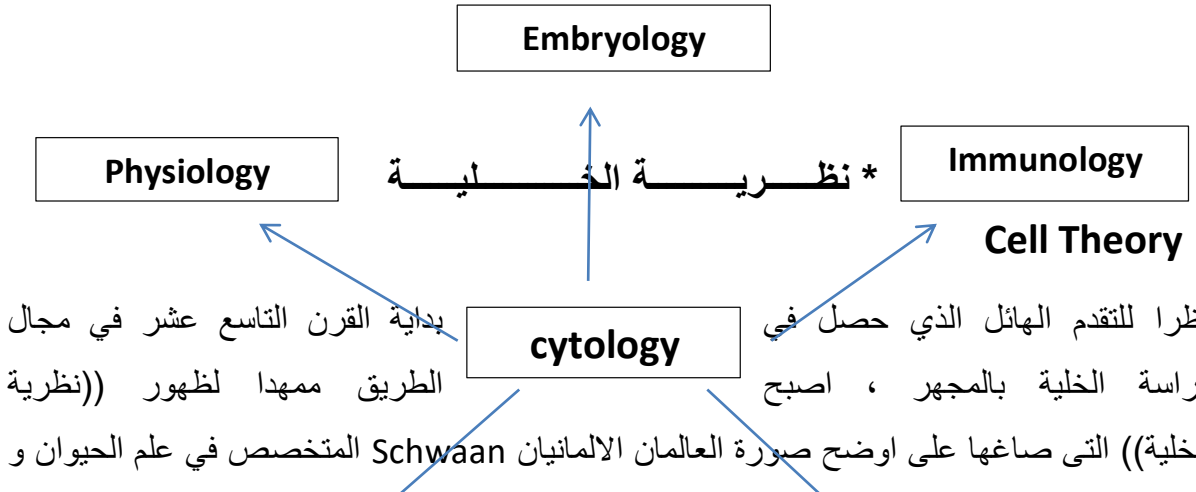
اما العالم الانجليزي Robert Hooke الذي قام بنشر كتابة الشهير (Micrographia) في عام 1665 والذي ضم صورا بديعة لمشاهدات خلال المجهر.وكان من اهم فصول الكتاب الفصل الذي تضمن مشاهداتة لخلايا الفلين إذ قال نصآ :

((انتقيت قطعة من الفلين الجيد المنتزع من لحاء شجرة معمرة ، وقطعت منه رقاقة بمبراة حادة بحيث كان السطح أملسآ للغاية ، وفحصتها بعناية بمجهر ذي عدستين ، فوجدتُ ان مادتها مليئة بالهواء الذي تحيطة بأحكام صناديق أو غرف تشبه غرف النحل)) .

وقد تمت تسمية هذه الغرف بـ Cells وتعني بالإغريقية ((فضاء فارغ !!!)) كذلك الاهتمام بدراسة الخلية استعاد نشاطة مع اكتشاف العالم الانجليزي Robert Brown نواة الخلية عام 1831 .

حيث قام بدراسة خلايا زهرة الاوركيد تحت المجهر فوجد (ان الخلايا التي وصفها R.Hooke بأنها فارغة تحتوي على نتوءآ مستديرآ يشبه حبة البندق أسماه ((النواة Nucleus)) ومعناها بالإغريقية (البندقة) .

ما ان هنالك علاقة بين علم الخلية و العلوم الاخرى كعلم المناعة Immunology و علم الوظائف Physiology و علم الوراثة Genetic و علم الانسجة Histology وعلم الاجنة Embryology وغيرها من العلوم الاخرى .



نظرا للتقدم الهائل الذي حصل في بداية القرن التاسع عشر في مجال دراسة الخلية بالمجهر ، اصبح الطريق ممهدا لظهور ((نظرية الخلية)) التى صاغها على اوضح صورة العالمان الالمانيان Schwaan المتخصص في علم الحيوان و Schleiden المتخصص في علم النبات في عام 1839 . إذ استطاعا جمع ادلة توضح ((ان جميع الكائنات الحية مكونة من وحدات متشابهة تسمى الخلايا . وان اجسام الكائنات الحية عبارة عن تجمع لهذه الخلايا التي حصل بينها توزيع وتنظيم في نوع العمل ، وان نشاط الكائن الحي هو عبارة عن مجموعة الانشطة الناتجة عن عمل خلاياه)) .

وقد تم قبول هذه النظرية رغم الانتقادات الموجه اليها . لاسيما ما اوردهُ Schleiden عن التضاعف الخلوي اذ اعتبر ((ان الخلايا الجديدة تتكون داخل الخلايا القديمة حول النواة)) . في حين اثبت اكتشاف الانقسامين الخيطي 1882 و الاختزالي عام 1885 صحة نظرية العالم الالماني Rodliv التي اعلن عنها في عام 1885 عن ((انقسام الخلية القديمة لتكون خلايا جديدة)) .

ولكن النظرية الخلوية ما تزال قائمة وان تغيرت بعض الشيء عما ذكره Schleiden و Schwann واصبحت النظرية الخلوية الحديثة كالأتي :-

((الخلية هي كتلة من البروتوبلازم محاطة بغشاء بلازمي وتحتوي نواة او اكثر في احد ادوار حياتها ، وهي الوحدة التركيبية و الوظيفية لجسم الكائن الحي ، وكل كائن حي يتكون من خلايا ومنتجاتها)) .

* مستويات التنظيم في الكائنات الحية :-

1. **الغلاف الحيوي Biosphere :**

ويضم مجموعة من الكائنات الحية الموجودة على سطح الكرة الارضية والمرتبطة مع بيئتها .

2. **النظام البيئي Ecosystem :**

ويشمل العلاقات المتكونة بين مجموعات من الكائنات الحية داخل الغلاف الحيوي حيث يتضمن العلاقات مع بعضها البعض من جهة وعلاقاتها مع بيئاتها من جهة اخرى .

3. **المجتمع البيئي Community :**

هو عبارة عن تجمع في داخله هناك علاقة ما بين مجموعات من الكائنات الحية المنتمية الى انواع مختلفة فعلى سبيل المثال المجتمعات البيئية الصحراوية تتكون من الارانب والذئاب والثعالب والثعابين والطيور والنباتات .

4. **النوع Species :**

هي مجموعات من الكائنات الحية تظم افردا متشابهين يميلون الى التزاوج فيما بينهم وانتاج ذرية سليمة وخصبة قادرة على التزاوج والاستمرار .

5. **المجموعات السكانية (الجماعات) Populations :**

هي مجموعات من الكائنات الحية تظم افراداً متشابهين يميلون للتزاوج فيما بينهم ويعيشون في منطقة جغرافية محصورة .

6. **الفرد Individual :**

هو عبارة عن كائن حي مكون من خلية واحدة (وحيد الخلية Unicellular) او مكون من عدة خلايا (متعدد الخلايا Multicellular) ويحمل صفات وراثية خاصة به .

7. **الجهاز العضوي System :**

هو مجموعة من الاعضاء داخل جسم الكائن الحي والتي انتظمت لتؤدي وظيفة محدده مثل جهاز الدوران في الانسان .

8. **العضو Organ :**

مجموعة من الانسجة التي تقوم بأداء وظيفة محددة داخل الجهاز العضوي مثل القلب .

9. **النسيج Tissue :**

مجموعة من الخلايا المجتمعة معاً لتكون نسيجاً ذو وظيفة محددة ويدخل في تركيب العضو .

10. **الخلية Cell :**

وهي الوحدة الاساسية في جسم الكائن الحي والتي تقوم بجميع وظائف الايض الحيوي وتحتفظ في داخلها بالجينات الوراثية المسؤولة عن صفات الكائن الحي .

11. **الجزيئات Molecules**
12. **الذرات Atoms**

الواجب اليومي :

اكتب مقال علمي تبين فيه ارتباط علم الخلية بالعلوم الأخرى .

الواجب الأسبوعي :

اكتب تقرير لايتجاوز ثلاث صفحات عن النظرية الخلوية الحديثة .

* حجم وشـــــــكل الخـــــــليــة: The Shape and Size of The Cell

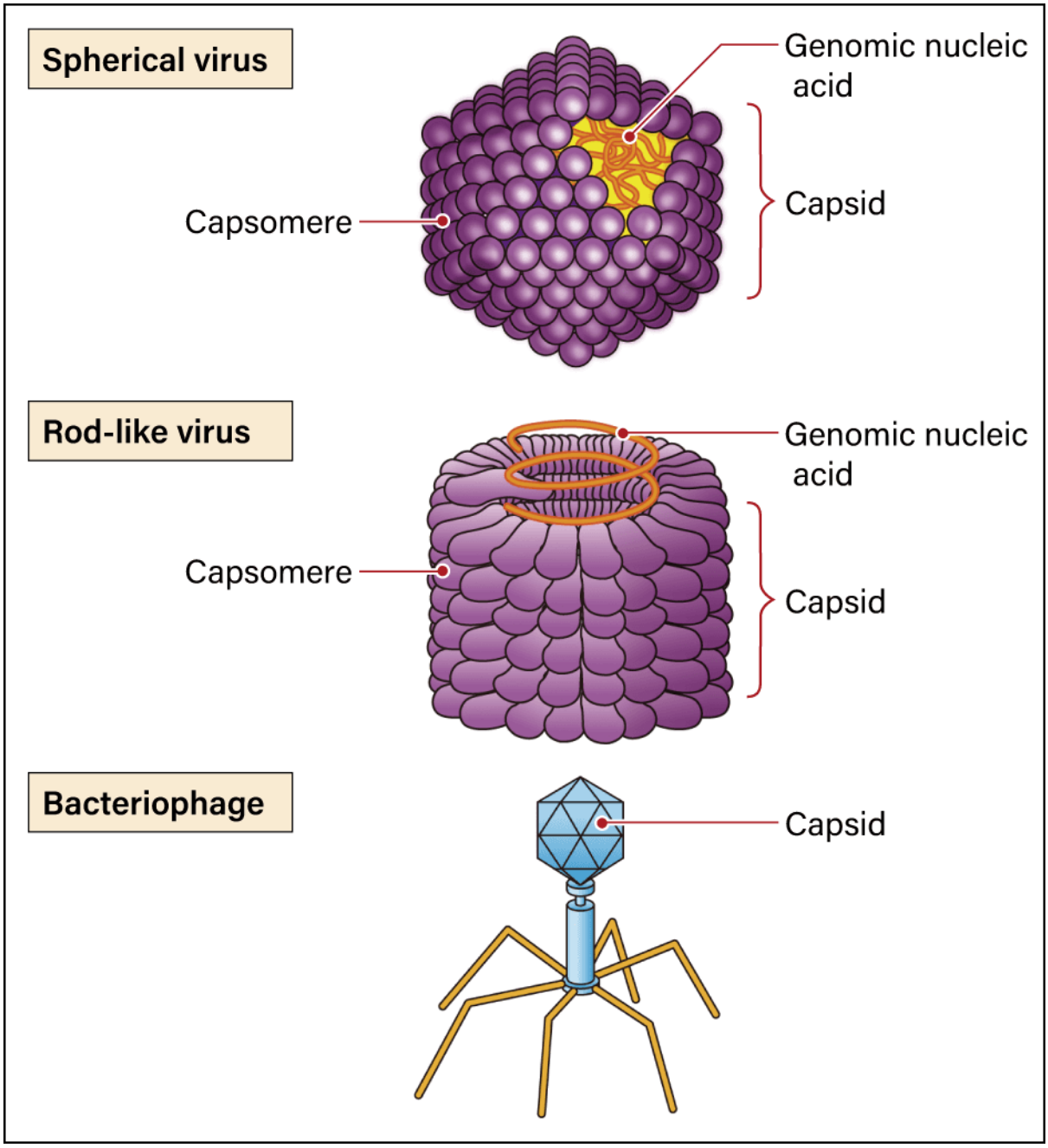
تختلف الخلايا من حيث الشكل والحجم تبعا لأماكن تواجدها والوظائف التي تقوم بها كما هو الحال بالنسبة لكريات الدم البيضاء التي تتحرك حركة الاميبيا بحكم وظيفتها أي ان لها شكل متغير بينما البعض الاخر من الخلايا له شكل ثابت مثل البكتريا الكروية Coccus و العصوية Bacillus و الحلزونية Spiral فضلا عن الخلايا المنوية والخلايا البيضة والخلايا العصبية.

اما بالنسبة لحجم الخلايا فمعظم خلايا الجسم هي ذات قطر بين 10 – 40 مايكرون بينما يكون حجم كريات الدم الحمراء من 7 – 8 مايكرون وهي اصغر خلية بينما تكون البويضة اكبر خلية في الجسم اذ يبلغ قطرها 100 مايكرون ، اما من ناحية الطول فالخلايا العصبية أطول الخلايا في الجسم ، فلو اخذنا الخلية التي تغذي جلد الاصبع الاكبر في القدم فان جسم هذه الخلية موجود في الفراغ القطني الخامس (فوق عظم العجز) بينما يمتد منها امتداد محوري يذهب الى اصبع القدم يبلغ طولة حوالي اكثر من متر واخر يتجه الى الاعلى في الحبل الشوكي ليصل الى النخاع في الجمجمة .

* الرواشـــــــــــح: The Viruses

يجدر بنا الاشارة الى شكل اخر من اشكال الحياة وان كان لا يعتبر خلية بأي حال ذلك هو الراشح (الفيروس)، تحتوي الخلية مهما كانت بسيطة على حامضي DNA و RNA وكذلك الرايبوسومات والالاف من المركبات العضوية كما تحاط بغشاء بلازمي ينظم مرور المواد بينها وبين المحيط الخارجي. اما الراشح فهو عبارة عن رزمة من المعلومات الوراثية تحتوي على احد الحامضين النوويين فقط ويحاط بغلاف بروتيني وبذلك تعتبر وحدة حياتية ناقصة . يشبه الراشح حين يكون غير نشط أي غير مرتبط بالعائل كمادة عضوية محفوظة على رفوف المختبرات.

ولكن عندما تغزو المادة الوراثية للراشح الخلية الحية فأنها تسيطر على فعاليات الخلية وتوجهها لتكوين (مكونات الراشح) بدلاً من القيام بفعالياتها المعتادة ، وهذا يؤدي الى موت الخلية او انفجارها نتيجة نمو مكونات الراشح .


Spherical virus
Genomic nucleic acid
Capsomere
Capsid
Rod-like virus
Genomic nucleic acid
Capsomere
Capsid
Bacteriophage
Capsid

تم اكتشاف الفيروسات أول مرة العالم الروسي Ivanovski عالم النبات في عام 1892 الذي لم يستطع رؤية العامل المسبب لمرض (موزاييك التبغ) من خلال المجهر ، لذا سحق اوراق التبغ المصابة ورشحها خلال مرشح خاص ذي ثقوب صغيرة جداً لا يسمح بمرور أي نوع من البكتريا خلالها . فوجد ان ان السائل المرشح يستطيع اصابة نباتات اخرى بالمرض ، لهذا اكد وجود نوع من الكائنات الحية التي تسبب امراضا ولا يمكن رؤيتها وسماها ((فيروسات)) وهي كلمة لاتينية تعني السموم .

* التركيب العام للخلية : General Structure

تقسم الكائنات الحية من وجهة نظر علم الخلية الى قسمين هما :

1. **كائنات بدائية النواة Prokaryotes**
2. **كائنات حقيقية النواة Eukaryotes**

وقد طرح هذا التقسيم العالم Hans Ris في بداية الستينات ويعتبر هذا التقسيم واسع الانتشار في الوقت الحالي .

* كائنات بدائية النواة : Prokaryotes

هي كائنات وحيدة الخلايا تكون محتوياتها النووية Nucleoid غير منفصلة عن السايتوبلازم بغلاف نووي ، وتسمى النواة في هذه الحالة بدائية (Pro) او كاذبة او شبة نواة .ويظم هذا التقسيم البكتريا Bacteria و الطحالب الخضراء المزرقة Blue Green Algae والمايكوبلازما Mycoplasma . ويتراوح قطر الخلية بين (1 – 10) مايكرون باستثناء خلية المايكوبلازما التي تكون صغيرة جداً ويتراوح قطرها بين (0.1 – 0.3) مايكرون . وكذلك بعض خلايا الطحالب الخضراء المزرقة فقط يصل قطر الخلية الى (60) مايكرون .

- تشير الادلة على ان بدائية النواة هي اسلاف لحقيقية النواة ؟؟

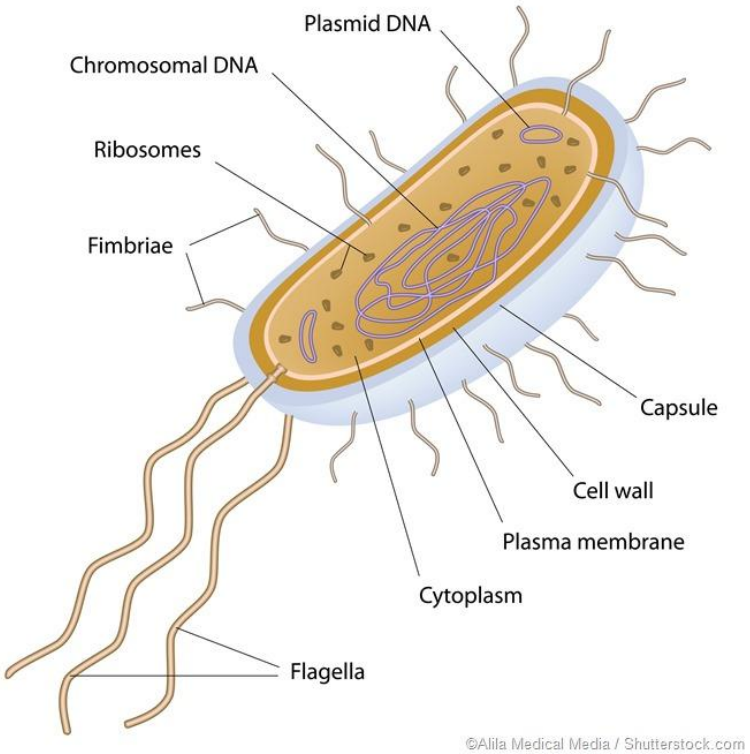
وذلك لا لكونها ابسط تركيباً وتنظيماً ووظيفة فحسب ، ولكن لأنها الخلايا الوحيدة التي عثر عليها متحجرة في الترسبات القديمة التي يزيد عمرها على ثلاثة ملايين سنة .

اما حقيقية النواة فقط وجدت الى جانب بدائية النواة في ترسبات لا يزيد عمرها عن المليون سنة .

* انـواع الكـائنـات البـدائيـة النـــــواة The Types of Prokaryotes

اولا : البكتريا Bacteria :

هي اكبر عائلات بدائية النواة ويقدر حجمها بثلاثة ارباع الكائنات المجهرية في الكرة الارضية ، ويحتوي غرام واحد من التربة ما بين عدة الالاف الى عدة مئات الملايين من البكتريا ، والتي يقدر قطر الواحدة منها ما بين (0.5 – 2) مايكرون (ما يقارب حجم ما يتوكوندريا الخلايا الحقيقية) .



ثانيا : الطحالب الخضراء المزرقة Blue Green Algae :

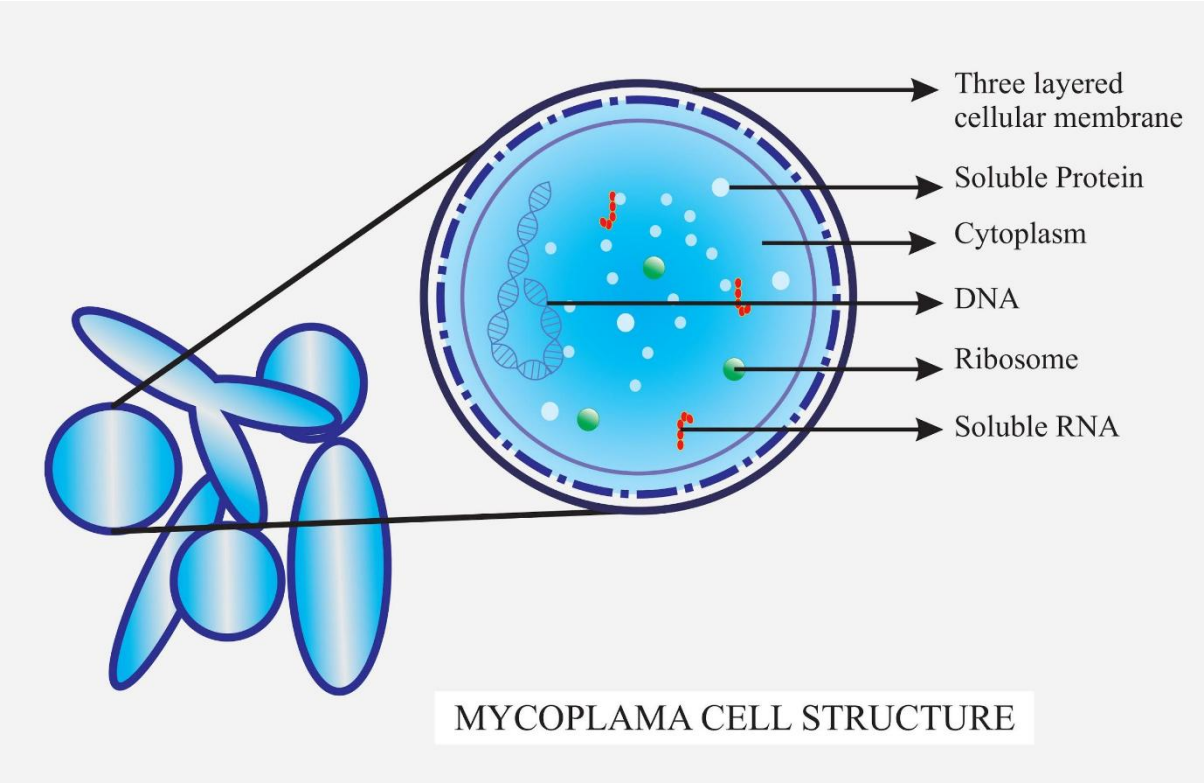
هي كائنات وحيدة الخلية توجد بصورة منفردة او على شكل تجمعات او مستعمرات على هيئة عناقيد صغيرة او خيوط وسلاسل طويلة ، وتتميز بقدرتها على صنع غذائها بنفسها بعملية البناء الضوئي . ورغم كون معظمها ذات لون اخضر مزرق الا انها توجد في عدة الوان اعتمادا على نسب الصبغات الموجودة ، وسميت بالخضراء المزرقة لان اول نوع عرف منها كان بهذا اللون .

وتتكون الخلية الطحلبية من نفس المكونات الموجودة في الخلية البكتيرية بأستثناء انعدام وجود الاسواط (عضو الحركة) وكما تحاط الخلية الطحلبية بغلاف جيلاتيني ويحل محل المحفظة (Capsule) في الخلية البكتيرية ، فضلا عن وجود جهاز التركيب الضوئي (في الخلية الطحلبية) والذي يتألف من صفائح التركيب الضوئي التي تحتوي على حبيبات صبغية . ومن امثلة هذه الطحالب Oscillatoria .

ثالثا : المـــــايـــكوبـــــــــــلازمـــــــا Mycoplasma :

هي اصغر خلية في الكائنات الحية تعيش بصورة حرة حيث يصل قطرها الى نحو 0.1 مايكرون . وتصيب الانسان و الحيوان وتسبب لهما الامراض ، وهي تشبه البكتريا من حيث النمو على وسط غذائي ، وتشبه الفيروسات من ناحية حجمها .

وتتكون الخلية النموذجية من غشاء بلازمي خارجي يتكون من البروتين والشحم يحيط بالخلية التي تحتوي على السايتوبلازم وبه عدد من الرايبوسومات . اما المادة الوراثية للخلية فتتكون من حامض (DNA) ذي لولب حلزوني مزدوج .



الواجب اليومي :

- قارن بين البكتريا و الطحالب الخضراء المزرقة .

- قارن بين المايكوبلازما و البكتريا .

الواجب الأسبوعي :

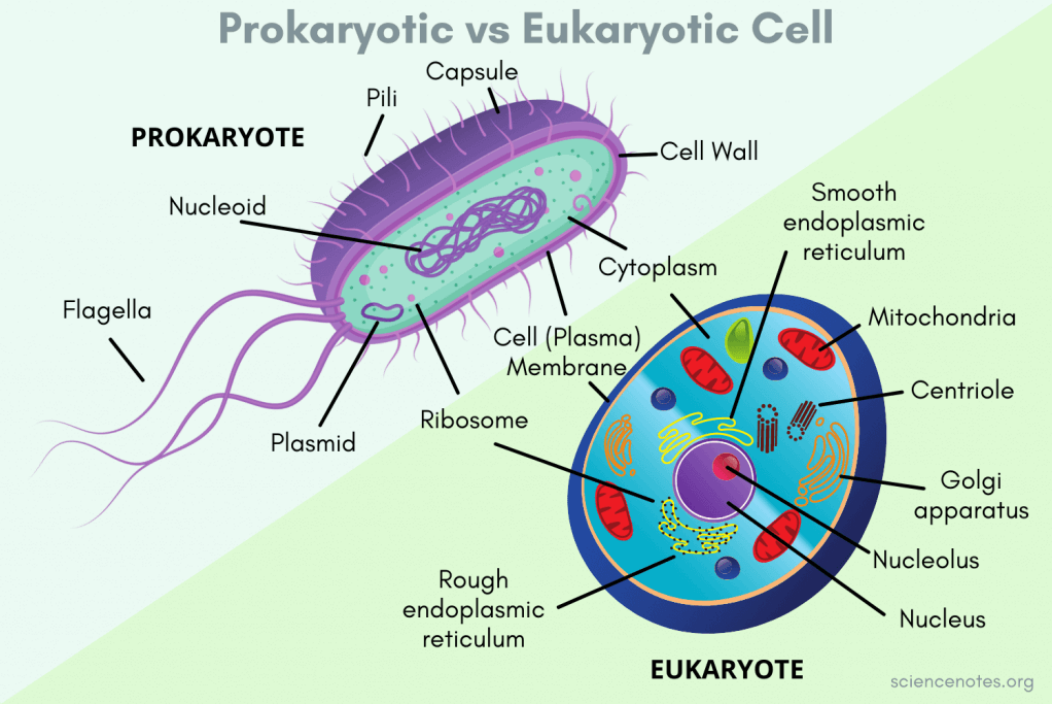
- اكتب مقال علمي عن الفايروس وكيف يحدث الإصابة بالخلايا الحية ؟

جامعة المثنى
كلية التربية الأساسية
قسم العلوم

* كـــــــــائنـــــــــات حقيـــــقـــية الـــنواة : Eukaryotes

تضم مجموعة كبيرة من الكائنات التي تحتوي خلاياها على نواة (nucleus) حقيقية واضحة محاطة بغلاف نووي Nuclear Envelope يفصلها عن السايتوبلازم المحيط بها ، كما يحتوي السايتوبلازم على الكثير من العضيات المحاطة بنظام غشائي يعزلها عن بعضها وعن السايتوبلازم ليهيئ لها بيئات صغيرة تساعدها على القيام بأفعالها الحيوية دون تدخل .

وتشمل هذه الكائنات مجاميع كبيرة تتدرج من بسيطة التركيب كالابتدائيات Protozoa ، الفطريات Fungi ، الطحالب Algae والى الكائنات الراقية معقدة التركيب كالحيوانات اللبونة Mammals ، والنباتات مغطاة البذور Angiosperm .



* تركـــيب الخـــــلايا البـــدائية النـــــواة Prokaryotic Structure :

توجد اربع مكونات رئيسية في جميع الخلايا البدائية النواة هي :

1. الغشاء البلازمي Plasma Membrane
2. الرايبوسومات Ribosomes
3. المحتويات النووية Nuclear Compounds
4. السايتوبلازم Cytoplasm

وهناك مكونات اخرى يختلف وجودها بأختلاف المجاميع و الانواع منها :

1. **جدار الخلية Cell Wall :**

هو الجزء الخارجي الصلب الذي يغلف الخلية بدائية النواة ، خاصة البكتريا ويمنحها القوة ويجعلها تأخذ الشكل المناسب ، كحاجز فيزيائي يحمي غشاء الخلية من المؤثرات الخارجية . ويعتقد بأنه غير حي ويتكون من افرازات المادة الحية الموجودة داخل الخلية ، ويختلف من الناحية الكيميائية عن جدار الخلية النباتية الحقيقية ، اذ يتكون من البروتينات و الشحوم و السكريات المتعددة وتشكل مكوناته من مادة الببتيد المخاطي Mucopeptide وهو معقد بروتيني كربوهيدراتي فعندما تكون هذه المكونات عالية تسمى البكتريا موجبة لصبغة كرام Gram Positive ومثالها Bacillus subtilis ، وعندما تكون منخفضة تسمى البكتريا سالبة لصبغة كرام Gram Negative ومثالها E.Coli . وقد يحاط جدار البكتريا في بعض الاحيان بتركيب خارجي اضافي يسمى المحفظة او الكبسولة (Capsule) ويمنح الجدار مع الكبسولة الشكل والهيئة للخلية فضلا عن كونهما حاجزين فيزياويين .

2. **الاغشية السايتوبلازمية الرقيقة Lamellate Cytoplasm Membranes**

توجد في سايتوبلازم بعض انواع البكتريا ، لاسيما ذات التغذية الذاتية Auto Trophic اذ تساعدها في دعم نموها الا ان هذه الاغشية ليست تراكيب مميزه كما هو الحال بالنسبة للشبكة الاندوبلازمية للخلايا حقيقية النواة و لا يمكن مقارنتها بها .

3. **الاسواط البكتيرية Bacterial Flagella :**

يتحرك كثير من انواع البكتريا بسوط واحد او اكثر وتنتقل من خلاله ، ويخرج السوط البكتيري من حبيبة قاعدية صغيرة في السايتوبلازم ممزقاً الغشاء البلازمي وجدار الخلية . ويكون السوط البكتيري اصغر حجماً وابسط تركيباً من سوط الخلية حقيقة النواة ويتألف من خيط مفرد (Spiral Wire) مكون من الياف طويلة ذات بروتينات كروية من نوع السوطين Flagellin، وتكون حركة السوط دورانية كالمروحة . وقد تكون خلية البكتريا ذات سوط واحد او متعددة الاسواط .

* تركـــيب الخـــلايا حقيـــقيـــة النـــــواة Eukaryotic Structure :

هنالك مكونات رئيسية توجد في جميع الخلايا الحقيقية النواة هي :

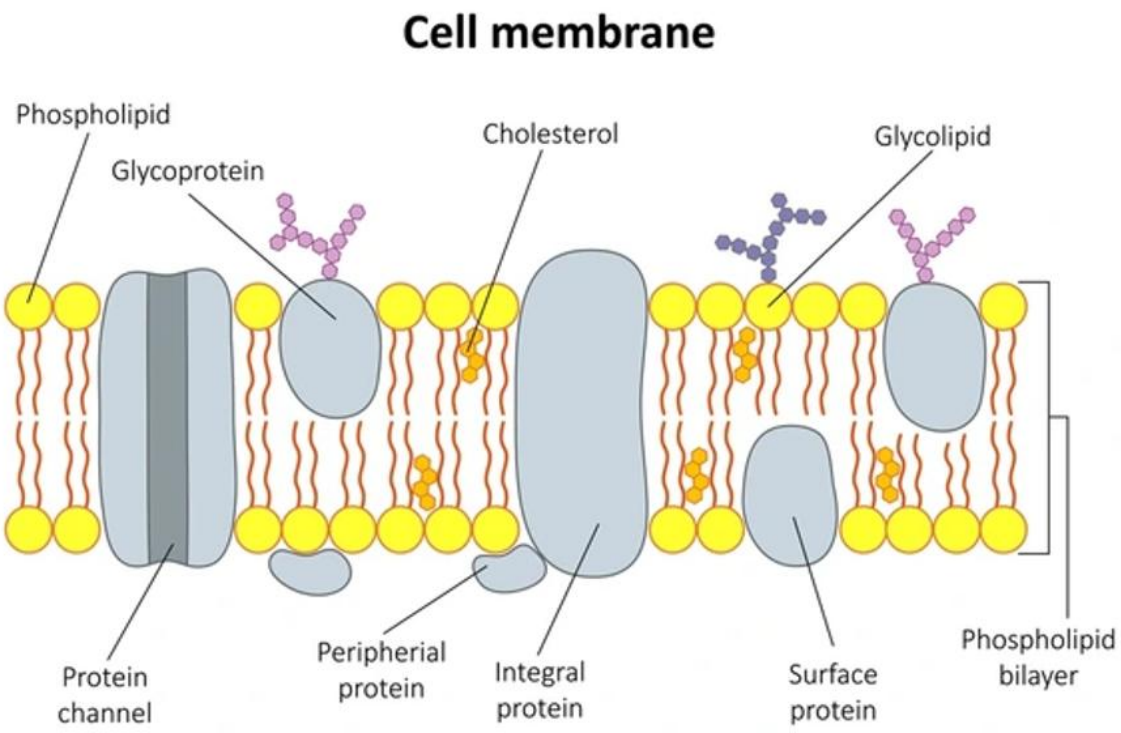
1. الغشاء البلازمي Plasma Membrane :

تحتوي الخلية الحقيقية النواة على العديد من الاغشية البلازمية التي تعمل على عزل السايتوبلازم وبعض العضيات الاخرى (كالنواة و المايتوكوندريا .....الخ.) بعضها عن البعض الاخر وتهيئ لها بيئات صغرى لتأدية وظائفها الحيوية بصورة صحيحة وبدون تدخل . ويمثل الغشاء البلازمي او ما يسمى بغشاء الخلية Cell Membrane الجزء الخارجي الرقيق الذي يحيط بالخلية ويعزلها عن محيطها الخارجي ، مكوناً حاجزاً غشائياً ذات نفاذية اختيارية يسمح بنفاذ بعض المواد من خلاله بسهولة ، والبعض الاخر بصعوبة . وقد لا يسمح بمرور مواد اخرى بتاتاً في ظروف معينة او دائماً .فهو ينظم مرور المواد من الخلية واليها . ويعد هذا الغشاء من الاغشية الحية المرنة التي لها القدرة على تجديد الجزء التالف منها . كما انه غير متجانس السمك ويحتوي على ثقوب صغيرة و كثيره تسمح بمرور الماء وبعض المواد ذات الجزيئات الصغيرة التي تذوب في الماء . وفي خلايا بعض الانسجة تتحور بعض الاجزاء فيه لتكون تحورات وتخصصات معينة فائدتها زيادة المساحة السطحية الماصة وزيادة نفاذ المواد عبر الغشاء ، فضلا عن زيادة درجة الاتصال وانتقال المواد بين الخلايا المتجاورة .

يحتوي الغشاء على الكثير من الانزيمات و حاملات الايونات لا سيما الجزء البروتيني فيه فانه يعد المكان المناسب لحدوث الكثير من العمليات الحيوية كأمتصاص ونقل الطاقة . كما تتحور بعض اجزائه للقيام بوظائف خاصة كالالتهام الخلوي Phagocytosis ، يتكون الغشاء من البروتينات و الشحوم ونسبة قليلة من الكاربوهيدرات .

* وظائف الغشاء البلازمي Plasmic membrane functions:

1. النقل (ينقل المواد من خارج الى داخل الخلية وبالعكس) اختياري النفوذية .
2. دعم الخلية والمحافظة على شكلها العام .
3. توفير مساحة سطحية هائلة للامتصاص وتبادل الغازات .
4. تمكين الخلية من الاتصال بالخلايا الاخرى المجاورة .
5. التوصيل (توصيل السيالات الكهربائية وتسريع انتقالها في الخلايا العصبية و العضلية) .



2 . السايتوبلازم Cytoplasm :

هو الحيز الموجود بين الغشاء البلازمي و النواة حيث يمثل الوسط الذي توجد فيه العضيات الحيوية (المايتوكوندريا ، جهاز كولجي ....الخ) كذلك هو سائل هلامي يشكل الماء منه 80% و 15% بروتينات و 5% شحوم وسكريات واملاح متنوعة .

3 . الشبـــــــــــكة الانـــــدوبـــلازميـــــة The Endoplasmic Reticulum :

هي مجموعة واسعة من الاوعية الغشائية (قنوات دقيقة او حويصلات او اكياس) متفرعة ومتصلة مع بعضها البعض مكونة نظاماً مغلقا مرناً من التجاويف داخل سايتوبلازم الخلية ذات النواة الحقيقية (عدا البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة) وقد اشتقت التسمية من الكلمة اللاتينية (Reticulus) وتعني شبكة صغيرة وتمثل جهاز الدوران في الخلية .

*** انواع الشبكة الاندوبلازمية Types of The Endoplasmic Reticulum :**

*** الشبكة الاندوبلازمية الخشنة (rough) :** لديها مستقبلات للرايبوسومات في غشائها ولذا تحمل عدد كبير من الرايبوسومات في الغشاء مما يعطيها مظهراً خشناً ، وظيفتها تعلب دور مهم في بناء البروتينات.

*** الشبكة الاندوبلازمية الناعمة (ملساء) (smooth) :** لا توجد رايبوسومات على غشائها وتكثر في الخلايا المنتجة للدهون وظيفتها

- بناء المواد الدهنية.

- معادلة بعض السموم الخارجية مثل الكحولات وبعض الادوية .

- النقل و تخزين الكالسيوم في الخلايا العضلية و اطلاقة اثناء انقباض العضلة .

4 . جهاز كولجي The Golgi Apparatus :

ويسمى ايضاً اجسام كولجي Golgi Bodies او معقد كولجي Golgi Complex وتم اكتشافه اول مرة من قبل الطبيب الايطالي Gamillo Golgi عام 1898 خلال مشاهدته تراكيب مسطحة خيطية الشكل قرب النواة في السايتوبلازم الخلية العصبية ثم جاءت دراسات المجهر الالكتروني عام 1950 لتؤكد وجود هذا الجهاز .

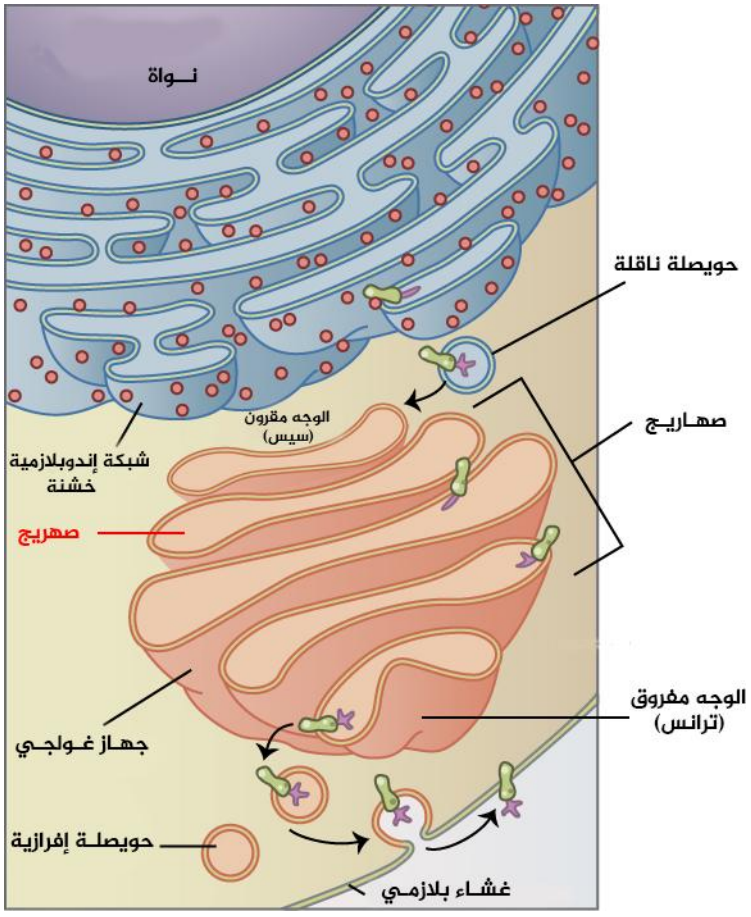
*** وظائف جهاز كولجي The Golgi Apparatus Functions :**

يعمل جهاز كولجي بصورة عامة في تجميع الجزيئات المخلقة حياتياً مثل البروتينات و الكربوهيدرات و الشحوم داخل الخلية و المنتقلة اليه عبر قنوات الشبكة الاندوبلازمية الخشنة ثم الناعمة او عن طريق الحويصلات الناعمة . حيث يتم اتحاد بعض البروتينات والكربوهيدرات داخل جهاز كولجي لتكوين البروتينات السكرية وكذلك اتحاد الشحوم والكربوهيدرات لتكوين شحوم سكرية .

ويقوم جهاز كولجي بالوظائف التالية :

1. المساعدة على تكوين الصفيحة الوسطى وجدار الخلية النباتية .
2. تتجمع حويصلات جهاز كولجي في اطراف الخلية العصبية وتفرز مادة اسيتايل كولين Acetyl Coline التي تنتقل من خلية عصبية لأخرى حاملة الاشارات او الاوامر العصبية .

3. يوجد معقد كولجي في خلايا قلنسوة الجذر Root Cap بتراكيز عالية حيث تقوم بأفراز مواد الى خارج الخلايا لتساعد على انزلاق خلايا الجذر بين حبيبات التربة .
4. يساعد جهاز كولجي على زيادة المساحة السطحية لغشاء البلازما ، وذلك عن طريق التحام بقايا الحويصلات الافرازية الممزقة – بعد طرح محتوياتها بالغشاء .
5. يقوم جهاز كولجي في خلايا الامعاء بإفراز Zymogen الذي يحتوي على انزيمات هاضمة محللة للبروتينات و الشحوم والكربوهيدرات و الحوامض النووية .
6. يساعد جهاز كولجي في عملية تكوين اللايسوسومات Lysosomes حسب أغلب الآراء .
7. يساعد الجهاز في تكوين بعض البروتينات المهمة مثل بروتين Acrosome الداخل في تركيب الحيامن .



5 . الجســـــــــــــيمات الحـــــــــالـــــة Lysosomes :

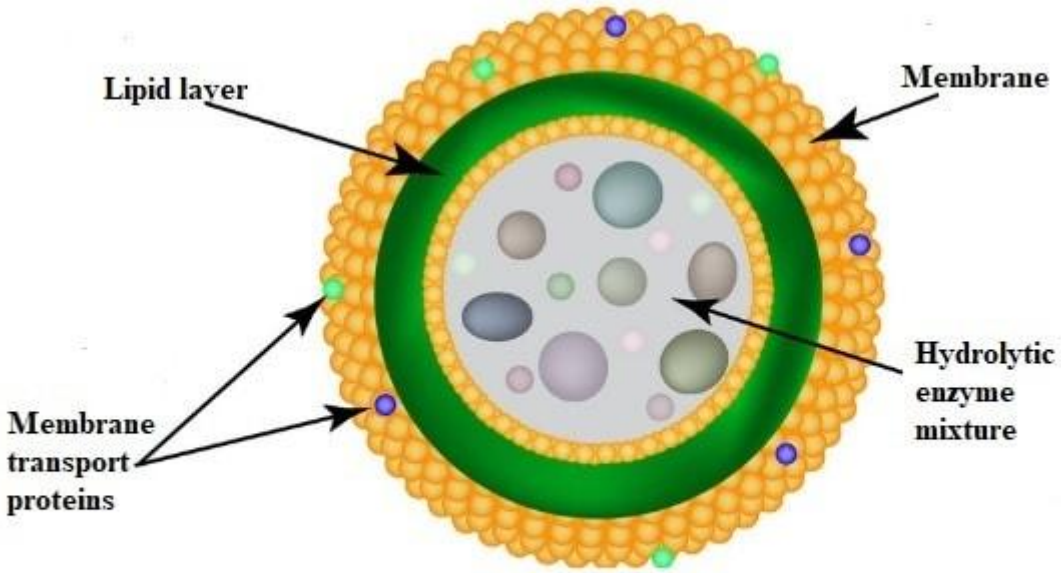
هي اكياس غشائية ذات اشكال واحجام مختلفة ، يتراوح قطرها بين (0.25-0.5) مايكرون تنتشر داخل سايتوبلازم الخلية ، تفتقر الى وجود تراكيب داخلية فيها وتحتوي بداخلها انزيمات محلله Hydrolytic Enzymes المسؤولة عن تحلل معظم الجزيئات الكبيرة في الخلية ، وتكون متصلة بالغشاء اللايسوسومي او مذابة يشكل محلول داخل اللايسوسوم .

قام بأكتشاف اللايسوسومات العالم الفرنسي Chridstian Deduve عام 1950 وسماها بهذا الاسم وقد حصل على جائزة نوبل عام 1974 تكريماً له على هذا الاكتشاف .

بلغ عدد الانزيمات المكتشف داخل اللايسوسومات ستين انزيماً ترتبط بالسطح الخارجي او الداخلي للغشاء اللايسوسومي او توجد بصورة مذابة داخل اللايسوسوم . ولا توجد هذه الانزيمات عادة في السايتوبلازم .

*** وظائف اللايسوسومات Lysosomes Functions :**

1. تساعد في عملية الدفاع عن الجسم عن طريق قيامها بهضم وتحليل الجزيئات الغريبة كالبكتريا و الفيروسات التي تبتلعها كريات الدم البيضاء الغنية باللايسوسومات فضلا عن تحليلها كريات الدم الحمراء المسنة .
2. تفرز اللايسوسومات الموجودة بكميات كبيرة في معظم خلايا الجهاز الهضمي انزيمات محللة للمواد الغذائية .
3. تقوم اللايسوسومات في بعض الخلايا بإفراز انزيماتها خارج الخلية مما يؤدي الى قتل بعض الاحياء المجهرية او تحلل مواد غذائية او غير غذائية مختلفة .
4. تفرز اللايسوسومات داخل الحيمن انزيمات لتحليل جزء من جدار البيضة مما يمكنه من اختراقها . كما تقوم انزيمات اللايسوسومات المفرزة بتحليل المح داخل البيضة لتمكين الجنين من امتصاصه .



Lysosome

الواجب اليومي :

- قارن بين الخلايا الحقيقية النواة و الخلايا البدائية النواة .

- ما هي أنواع ووظائف الشبكة الاندوبلازمية .

الواجب الأسبوعي :

- اكتب مقالة علمية تتناول بيها التركيب الدقيق و الوظائف التي يقوم بيها الغشاء الابلازمي ؟

6.المايتوكوندريا (بيوت الطاقة) Mitochondria :

تعد المايتوكوندريا اهم عضيات الخلية الحية – بعد النواة لكونها المسؤولة عن اكسده الغذاء وتحرير الطاقة اللازمة للفعاليات الخلويه المختلفه ، وقد اكتشفها عالم التشريح السويدي البرت كوليكر Albert kolliker وسماها كوندرسيومات ولكن العالم بندا Banda سماها مايتوكوندريا وهي كلمه مشتقه من كلمتين اغريقيتين Mito بمعنى خيط و chondrion بمعنى حبيبة أي حبيبات خيطيه وتمت معرفة وظائف هذه العضيات في اكسده الغذاء تفصيلا ما بين 1910-1960

لهذا تسمى احياناً بيوت الطاقة Power Houses

نوع الخلية	عدد المايتوكوندريا
الطحلب الاخضر	1
الحيمن	30 – 20
خلايا الكلية	900 - 300
خلايا الكبد	1000 - 800
الخلية النموذجية	1000

* اشكال المايتوكوندريا :

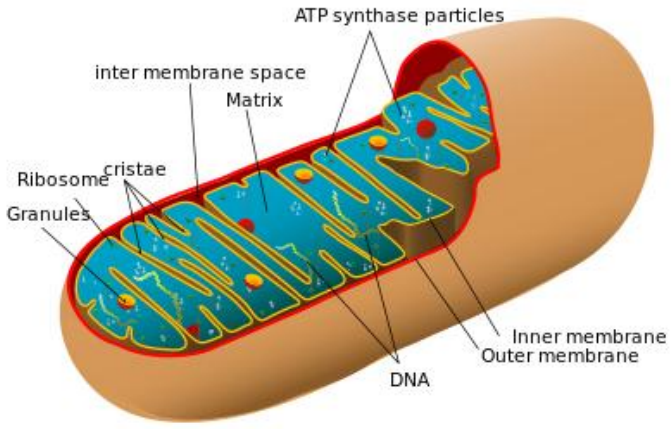
- حبيبات صغيره (0.2 – 3) مايكروميتر
- قضباناً قصيرة (8 – 12) مايكروميتر
- تشبه بالشباك
- تشبه الحلقات
- تشبه حبات المسبحة
- تشبه الهراوات او مضارب التنس
- تأخذ الشكل البيضوي
- تأخذ الشكل الكاسي

ويحدث التبدل في الشكل المايتوكوندريا خلال ثوان معدودة فقد لوحظ في خلايا الكبد تغير شكل المايتوكوندريا 20 – 25 مره خلال 10 دقائق .

ويعزى سبب تعددية اشكال المايتوكوندريا الى حدوث تغير في :

1. **درجة الأس الهيدروجيني PH الخلية**
2. **الضغط التنافذي**
3. **فعالية الخلية الوظيفة**
4. **حركه السايتوبلازم**

ويحيط بالمايتوكوندريا غلاف مؤلف من غشائين احدهما خارجي .outer m والاخر داخلي Inner m. بحيث يكون الخارجي املس لا يحتوي على انبعاجات سهل النفاذية اما الداخلي حاوي على انبعاجات واختياري النفاذية يحيط بالفراغ " الردهه الداخلية" التي يكون مملؤة بماده كثيفه غروية لزجة تسمى الحشوة Matrix وهذه الانبعاجات تمتد الى الداخل وتسمى بالأعراف Crista .



* الاعـــــراف Crista :

تعد الاعراف طيات او بروزات من الغشاء الداخلي التي تعمل على زياده المساحة السطحية المخصصة للعمليات الحيوية الجارية داخل المايتوكوندريا وقد وجد حسب الابحاث ان المساحة المحيطية لغشاء المايتوكوندريا الداخلي هي اكبر بنحو عشر مرات من المساحة المحيطية لغشاء الخلية البلازمية .

تحدد الفعالية الوظيفة للخلية عدد وطبيعة اشكال الاعراف المايتوكوندريه فكلما ازدادت كمية الطاقة التي تبذلها الخلية كلما ازدادت عدد الاعراف في المايتوكوندريا فهنالك عدد هائل من الاعراف في المايتوكوندريا الموجودة في عضلات قلب اللبائن وعضلات الطيران في الحشرات وفي الحيامن . بينما يقل عدد الاعراف في مايتوكوندريا خلايا القصبة الهوائية او خلايا البشرة ، وقد يصل عددها الى عرف واحد في مايتوكوندريا الديدان الطفيلية .

*وظـــائـــف الـمايتـــوكـونـدريـــا : The Mitochondria Functions

1. انتاج الـ ATP من العصير البلازمي لعملية التحلل السكري Glycolysis
2. انتاج الـ ATP من الكلوروبلاست في بعض خلايا النبات باستخدام الطاقة الضوئية
3. انتاج الـ ATP من المايتوكوندريا عن طريق اكسدة عدد من المركبات في جميع الخلايا الحية
4. اكسدة الحوامض الدهنية .
5. حماية الخلية حيث تقوم المايتوكوندريا بتحليل بعض النواتج السامه من العمليات الايضية .

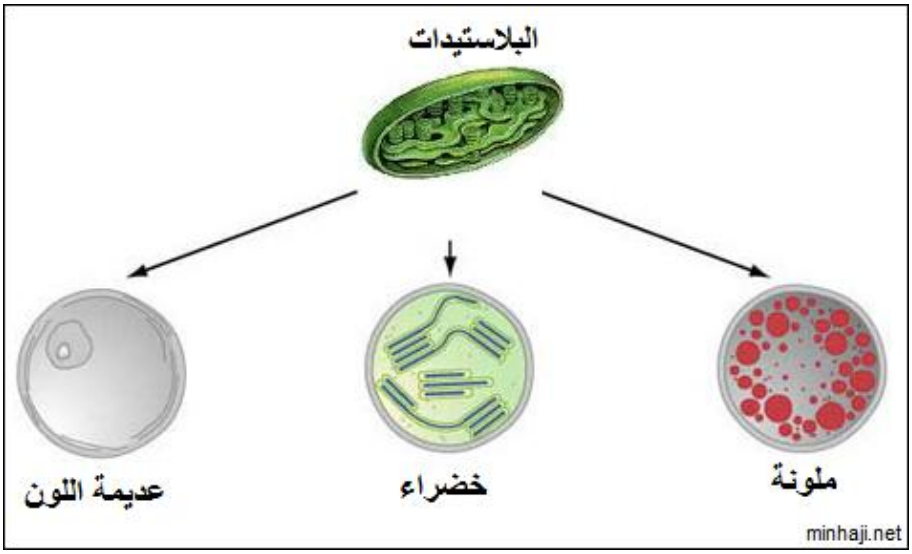
7. الـــبلاستـــيـدات Plastids :

عضيات سايتوبلازمية حية كبيرة الحجم واضحة المعالم بالمجهر الضوئي ، توجد في سايتوبلازم الخلية النباتية والطحلبية (عدا الخلايا الحيوانية والبكتريا والفطرية) لها القدرة على الانقسام والنمو دون الارتباط بعملية انقسام الخلية الموجودة فيها هذه البلاستيدة . اما البلاستيدات الاولية Pro Plastidos التي تنشأ ايضاً من انقسام البلاستيدة الخضراء الى بلاستيدتين اوليتين ، ويختلف عدد البلاستيدات في الخلية الواحدة بأختلاف نوعها فقط تحتوي الخلية الواحدة بلاستيدة واحدة او اثنين فقط كما في بعض الطحالب و النباتات الواطئة او تحتوي على 50 – 100 بلاستيدة كما في خلايا النباتات الراقية .

- وتقسم البلاستيدات على اساس وجود او غياب بعض الصبغات الى :

1- بلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts :

وتضم مجموعه كبيرة من البلاستيدات عديمة الصبغات توجد في الخلايا البعيدة عن ضوء الشمس مثل درنات البطاطا او البذور او الجذور وظيفتها الرئيسية هي تخزين حبيبات النشأ ولها القدرة على التمدد والمطاطية . وقد تتحول هذه البلاستيدات عديمة اللون من صورة الى اخرى حسب نشاط الانزيمات ونوعها . واهم الصور التي تكون عليها هذه البلاستيدات ما يأتي :



أ- البلاستيدات الاولية Proplastids :

وتشمل البلاستيدات الموجودة في الخلايا المريستيمية الناتجة من الانقسام وفي الاطوار الاولي (الفتية) قبل النضج وعند تعرضها لضوء الشمس تتحول الى بلاستيدات خضر.

ب- البلاستيدات البيض او الشاحبة Etioplasts:

هي البلاستيدات المحرومة من ضوء الشمس حيث تختفي صبغة الكلوروفيل من البلاستيدات الخضر في الاجزاء المختفية عن ضوء الشمس وتصبح البلاستيده عديمة اللون .

ج- البلاستيدات الخازنة للنشأ Amyloplasts :

تعمل هذه البلاستيدات على تحويل السكر الى نشأ ثم خزنه داخلها ويسمى النشأ المخزون حيث يكون ذا حبيبات كبيرة الحجم قليلة العدد خلافاً للنشأ المنقول المتكون في البلاستيدات الخضر ذات الحبيبات صغيرة الحجم وكثيرة العدد الذي يتحول في ظروف الظلام الى سكريات تنتقل الى انسجة النبات الاخرى ونتجه للسكر المخزون فيها تنفتح البلاستيدة عديمة اللون وتنفجر في النهاية .

د- البلاستيدات الخازنة للدهون Elaioplasts :

تقوم بتخزين المواد الدهنية كالقطرات الدهنية و الزيتية .

هـ- البلاستيدات الخازنة للبروتين Protein plasts :

وقد تسمى بلاستيدات الاليرون Aleurone plasts وتقوم بتخزين المواد البروتينية على شكل حبيبات بروتينية .

2- البلاستيدات الملونة Chromo plasts :

وتضم مجاميع من البلاستيدات ذات الوان مختلفة عدا اللون الاخضر وتحتوي في تركيبها الصبغات الكاروتينية Carotenoids وهي المسؤولة عن اللون الاصفر والبرتقالي والاحمر للأزهار والثمار والجذور ويعتقد بأن وظيفتها هي اجتذاب الحشرات الى الازهار لتسهيل عملية تلقيحها ، وقد يكون لها دور في تنشيط عملية البناء الضوئي .

3- البلاستيدات الخضر Chloro plasts :

هي البلاستيدات التي تحتوي في تركيبها صبغات الكلوروفيل chlorophyll ذات اللون الاخضر بشكل اساسي وتوجد في جميع الاجزاء النباتية الخضراء ومن ضمنها الاجنة المحاطة بأغلفة البذور والثمار ، وأظهرت الدراسات بأن البلاستيدات الخضراء للنباتات الارضية التي تقيم الاشنات والسرخيات ذات شكل قرصي او عدسي كما يتحكم العامل الوراثي في حجم البلاستيدة فمثلاً تكون البلاستيدة الخضراء في الخلايا متعددة المجموعه الكروموسومية اكبر حجم من تلك الموجودة في

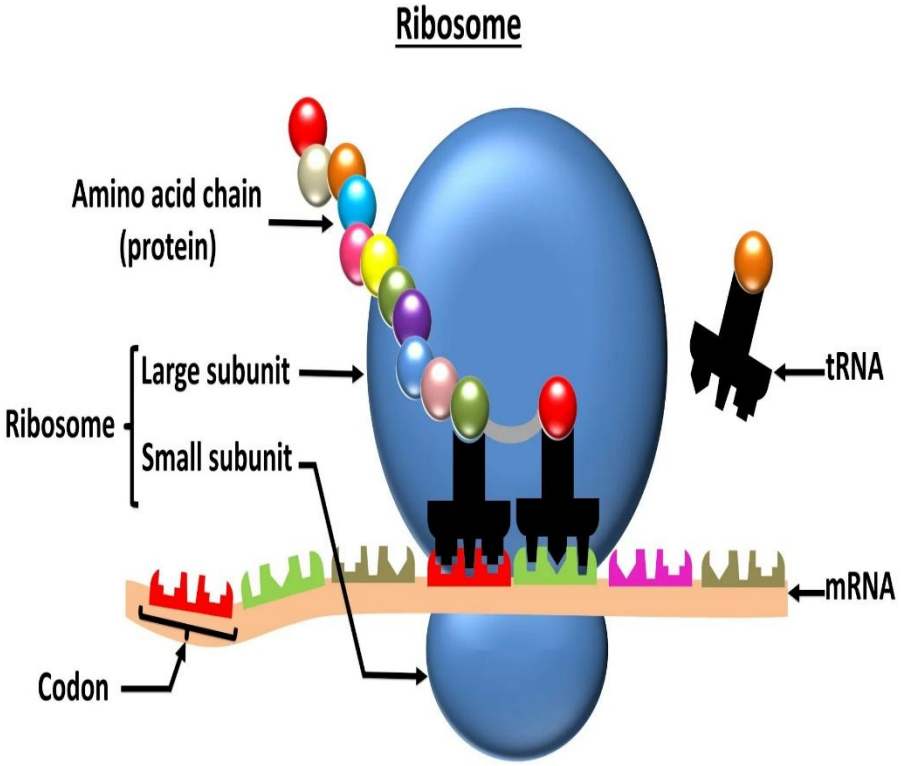
الخلايا الثنائية المجموعه الكروموسومية . كما وجود بلاستيدات نباتات الظل اكبر حجماً واكثر في كمية الكلوروفيل من البلاسيدات الموجودة في النباتات المعرضة للشمس .

8.الـــرايـبوسـومـات الـطـلـيـقة او الـــحرة Free ribosomes :

تكون متناثرة داخل السايتوبلازم الزجاجي بشكل مؤقت وقد تكون معلقة في السايتوبلازم الزجاجي على هيئة صفوف او تجمعات كتلية تعرف بالرايبوسومات المتعددة Polyribosomes التي ترتبط مع بعضها بالحامض النووي الرايبوزي الرسولي RNA وتقوم ببناء البروتين الذي يستخدم داخل السايتوبلازم (كبناء الانزيمات او زيادة المادة السايتوبلازمية في الخلايا السرطانية المنقسمة او زيادة البروتين في الهيموغلوبين الخاص بالخلايا المولودة لكريات الدم خلال مرحلة نموها قبل النضج) .

ـ الرايبوسومات المرتبطة Attached Ribosomes :

توجد على شكل تجمعات او تكتلات مرتبطة بالسطح الخارجي لأغشية الشبكة البلازمية وهي مسؤولة عن بناء البروتينات المستخدمة خارج الخلية . حيث تكوّن البروتينات يحدث غالباً بالرايبوسومات المتجمعة التي ترتبط بالحامض النووي الرايبوزي المراسل (mRNA) الموجود في السايتوبلازم الزجاجي الذي يحمل المعلومات اللازمة لبناء البروتين وتقوم الرايبوسومات بالتدحرج على طول الحامض النووي mRNA لقراءة رموزه وتكوين جزئ البروتين الذي يناسب طوله مع عدد الرايبوسومات المتجمعة.



9.جـــــدار الــخليـــــة Cell wall :

وهو الغلاف الصلب الذي يحيط بالغشاء البلازمي للخلية النباتية من الخارج ، ويتراوح سمكه بين1 – 3 مايكروميتر حيث يتكون في المراحل الاخيرة – من انقسام النواة في عملية الانقسام الخيطي Mitosis. اذ تتجمع حويصلات غشائية ناتجة من الشبكة الاندوبلازمية واجسام كولجي وسط الخلية

وبعدها تترسب مادة السليلوز على الاغشية الجديدة ثم تمتلئ المسافة بين الخليتين الجديدتين نتيجة لتجمع مادة البكتات (الكالسيوم + المغنسيوم) لتكوين ما يسمى الصفيحة الوسطى .

بعد ذلك يتم ترسب لبعض المواد على جانبي الصفيحة الوسطى مكوناً الجدار الاولي Primary wall ويكون رقيقاً مرناً ومؤلفاً من مادة السليلوز واشباه (انصاف) السليلوز والبكتين وفي بعض الخلايا لا يوجد سوى الجدار الاولي فقط اذ يفرز السايتوبلازم مواداً مثل السوبرين والكيوتين تترسب عليه لمنع نفاذية الماء وفي خلايا اخرى يعقب تكون الجدار الاولي جدار اخر يسمى الجدار الثانوي Secondary مؤلف من ثلاث طبقات الوسطى منها سميكة اما طبقتان الخارجية والداخلية تكونان رقيقتين

ويمكن ملاحظة اهم نقاط الاختلاف بين الجدار الاولي والثانوي في الجدول الاتي :

المادة	الجدار الاولي	الجدار الثانوي
1- السليلوز	نسبة واطئة نحو 10%	نسبة عالية نحو 50%
2- اشباه السليلوز والبكتين	نسبة عالية	نسبة واطئة
3- طول سلاسل السليلوز	نحو 0.5 مايكرو ميتر	نحو 1.5 مايكروميتر
4- نسيج الليفات	الليفات مبعثرة	الليفات مرتبة بطبقات مع بعضها
5- المرونه	عالية	واطئة نسبياً
6- نوعية النمو	اضافة النمو في السطح بعملية التداخل	اضافة النمو في السطح بعملية التراكم

*** اهمية جدار الخلية :**

1- المحافظة على الخلية النباتية ميكانيكياً بأعطائها القوة و الصلابة.

2- الحفاظ عليها من المؤثرات الخارجية .

3- واسطة لتبادل الايونات بين الخلية والتربية.

4- يساعد في نمو الخلية عن طريق مرونة الجدار الاولي .

5- يعتبر وسيلة اتصال للخلية مع الخلايا المجاورة .

10 . هيـــكـــــل الـــخليـــــــــة Cytoskeleton :

للخلايا الحقيقة النواة جهاز مميز من الخيوط الدقيقة والنبيبات التي تكوّن هيكل الخلية . وهذه تعطي دعامة للخلية ، وتحافظ على شكلها ، ويستعمل هذا الجهاز من قبل العديد من الخلايا كوسائل حركة والانتقال للعضيات داخل الخلية .

أ- الخيوط الدقيقة Microfilaments :

وهي عبارة عن تراكيب رقيقة ومستقيمة لوحظت لاول مرة بوضوح في الخلايا العضلية ، وهي تتمثل بخيوط الاكتين المكونة من البروتين الاكتين وخيوط المايوسين مكونة من بروتين المايوسين ولها دور في تقلص والانبساط .

ب- النبيبات الدقيقة Microtubules :

وهي اكبر من الخيوط الدقيقة وتتمثل بتراكيب انبوبية مكونة من بروتين يدعى tubulin ولها عدة وضائف منها

1-تشكل الجسيمات المركزية

2-تساهم في السيطرة على دخول وخروج المواد

3-لها دور في حركة الكروموسومات خلال انقسام الخلية

4-تعتبر جزء اساسي في تركيب الاهداب والاسواط

ج- الجسيم المركزي Centrosome :

يحتوي الجسيم المركزي على زوج من المريكزات Centrioies وكل منها عبارة عن اسطوانة من تسع مجاميع ثلاثية النبيبات الدقيقة وتتضاعف المريكزات عند انقسام الخلية ويبتعد الجسيمان المركزيان الى قطبي الخلية ويرتبطان معاً بالخيوط المغزلية . وبالرغم من عدم وجود الجسيمات المركزية في الخلايا النباتية الا انه يوجد مركز لتخليق او تكوين النبيبات الدقيقة كما توجد الخيوط الدقيقة .

11 . الـــجسيـــم الـــحركـــــــي Kinetosome :

هو يشابه المريكزات في تركيبه ، ويتمثل بتركيب يتخذ موقعاً عند قاعدة الهدب او السوط في الخلايا التي تحتوي اهداباً او اسواطاً وللجسيم الحركي دوراً مهماً في حركة الاهداب والاسواط ويطلق عليها ايضاً بالجسيم القاعدي Basal body .

الواجب اليومي :

- اذكر الوظائف المهمة للمايتوكوندريا .

- اكتب مقالة عن أهمية الجدار الخلوي .

الواجب الأسبوعي :

- قارن بين الرايبوسومات الحرة و المرتبطة .

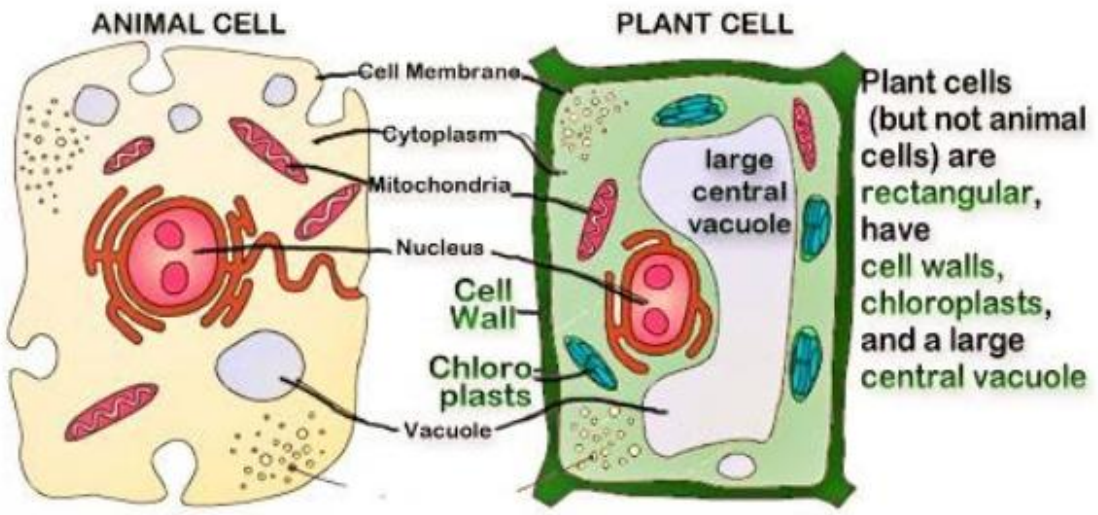
* الـــــفجوات Vacuoles :

عبارة عن فقاعات او انتفاخات مليئة بالسائل توجد في السايتوبلازم الخلايا النباتية والحيوانية وتكون متميزة في الخلية النباتية اذ تكون قليلة العدد وكبيرة الحجم مقارنة بالخلية الحيوانية التي تكون فجواتها صغيرة جداً وقليله في حالة وجودها .

والفجوات ذات وضائف مختلفة منها فجوات ناقلة التي تنشأ عن الشبكة الاندربلازمية وتمتلك ارتباطات بالشبكة وهناك الفجوات الافرازية اذ يتم بها التخلص من الماء والفضلات فضلاً عن الفجوات الغذائية التي تحوي بداخلها على مواد غذائية .

تسمى الفجوات الموجود في الخلايا النباتية (بالفجوات العصارية) وتحتوي بداخلها على العصير الخلوي cell sap وهذه الفجوات تكون صغيره وعند النضج تلتحم مع بعضها لتكون فجوة واحدة مركزية في وسط الخلية الناضجة تشغل حوالي 95% من حجم الخلية .

اما العصير الخلوي داخل الفجوات فيتألف من الماء بشكل رئيسي فضلاً عن بعض المواد الذائبة فيه بشكل محاليل واهمها التراكيز العالية من مركبات النتروجين وتتضمن الاحماض الامينية والسكريات والبروتينات فضلاً عن المواد الدهنية .



*الــوظــائف الــمهمــة للــفجـوات الــعصاريــة : The Important functions For Vacuoles

1- تعد المكان الرئيسي لتجميع نواتج التفاعلات (كالاملاح والاحماض العضوية ... وبعض المركبات السامه ، وبذلك تستطيع الفجوة جمع وفصل هذه المواد عن البروتوبلازم كما تكون مكاناً لتخزين بعض المركبات الحيوية المهمة واستخدامها وقت الحاجة في عمليات البناء الحيوي للخلية .

2- تلعب دور مهم في عملية الافراز والاخراج اذ بهما يمكن التخلص من كثير من الفضلات الضارة.

3- تحافظ على الضغط الانتفاخي للخلية بجعلها في حالة توازن اذ ان التراكيز العالية للمواد الذائبة في عصير الفجوة تسبب زيادة في الضغط الاوزموزي للفجوة (والخلية) ، فامتصاص الخلية للماء وانتفاخها يؤدي الى صلابة النباتات وامتلاء خلاياه بالماء المهم في انجاز الوظائف الحيوية المختلفة ، واذا ما

خرج الماء من الفجوة والخلة تحدث عملية بلزمة الخلية وينكمش السايتوبلازم ويبتعد عن الجدار الخلوي ، ويحدث توتر كبير على الروابط البلازمية قد يؤدي الى تقطعها مما يفقد السايتوبلازم حيويته .

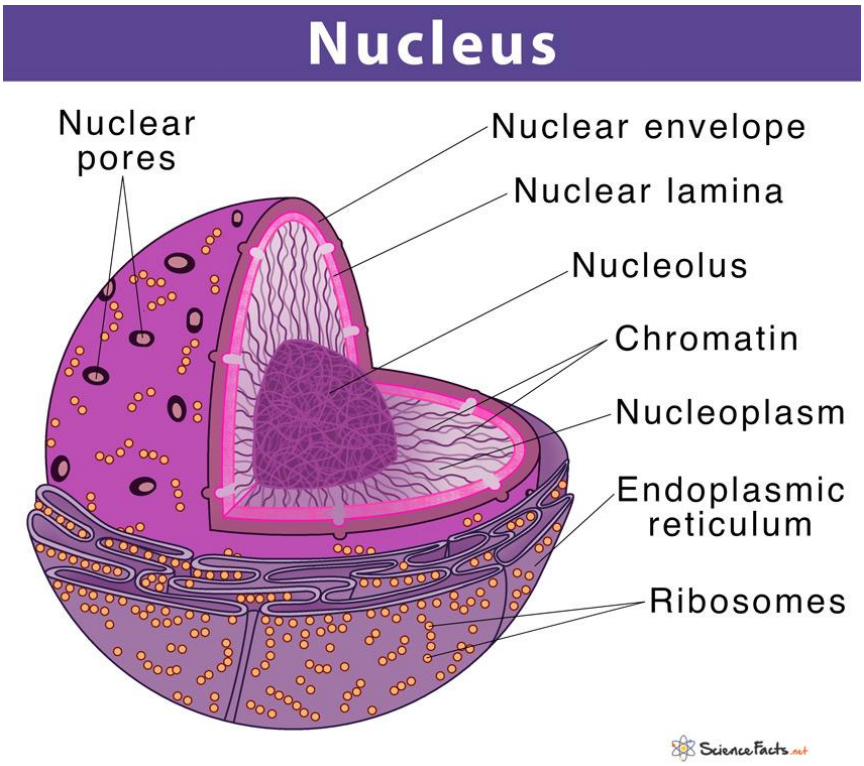
* الــــنواة Nucleus :

وهي عضية كبيرة نسبياً يمكن مشاهدتها بوضوح بالمجهر الضوئي ، وصفها عام 1891 عالم النبات الانكليزي R.Brown وشاهدها عام 1835 في خلايا نبات الاوركيد واطلق عليها مصطلح النواة Nucleus والتي تعني بالإغريقية بندقه (Nut) .

وتحتوي الخلية المفردة حقيقة النواة غالباً على نواة واحدة وتسمى الخلية احادية النواة Mononucleate او تحتوي على نواتين وتسمى ثنائية النواة Binucleate والخلايا التي تحتوي على اكثر من نواتين تدعى بمتعددة الانوية .Poly n.

*شـــــكل ومــوقع الــنواة : The Form and Location of The Nucleus

يعتقد ان هناك علاقة بين شكل الخلية وشكل نواتها في الكثير من الخلايا الحقيقة النواة رغم وجود بعض الاستثناءات وعادتاً يسود الشكل الكروي او البيضوي في نوية هذه الخلايا . وتقع النواة بشكل عام في وسط الخلية الفتية اما في الخلايا مكمله النضج فلا يوجد للنواة موقعاً محدداً وقد تكون قرب جدار الخلية ، وبصورة عامة فأن الشكل الكروي والحجم الكبير نوعاً والموقع الوسطي هو المظهر المميز للخلايا الفتيه الحديثة التكوين .



*اهـمية الــنواة : The Importance of The Nucleus

تعد النواة مركز المعلومات الوراثية وهي بذلك تسيطر وتوجه كافة الفعاليات الحيوية الخاص بالخلية ، وقد تختفي النواة في بعض الخلايا قبل النضج كما في كريات الدم الحمراء للإنسان وخلايا اللحاء في النباتات .

وتشير الدراسات الى ان الخلية تضمحل وتموت عند فقدان نواتها الا ان هنالك بعض التجارب الحديثة في هذا المجال ترى غير ذلك . كما في التجارب التي استخدم فيها الطحلب الاخضر وحيد الخلية المسمى اسيتابيولارا Acetabularia لتوضيح علامة النواة ويتكوّن هذا الطحلب من الجذيرات وساق

ومضلة . وقد تمت ازالة النواة منه بقطع (استئصال) الجذيرات ثم ازيلت المضلة ولكن الساق عديم النواة استطاع اعادة تكوين قبعة جديدة . مما ادى الى افتراض وجود المعلومات الوراثية اللازمة لتكوين المضلة الجديدة في سايتوبلازم الساق الخاص بالطحلب وليس النواة . وفي مجال النبات لوحظ بأن الانابيب المنخلية الناضجة المكونة لخلايا اللحاء Phloem تستمر بالحياة رغم خلوها من النواة .

وبصورة عامة فأن النواة تمر خلال فترة حياتها بطورين مميزين هما :

1- الطور البيني inter phase :

2- طور الانقسام Division phase :

حيث الطور البيني يمثل حالة النواة غير المنقسمة ويوازي طور الاستقرار الذي تكون فه بعض الخلايا التي لا تنقسم طيلة فترة حياتها (الخلايا العصبية) ويعد افضل طور لدراسة النواة . اما طور الانقسام وهو الطور الذي تكون فيه النواة في حالة انقسام ونشاط مرتفع .

* مـكـــونـــات الـــنواة : The Components of Nucleus

1- الغلاف النووي : The Nuclear Envelope

2- البلازما النووية : Nucleoplasm

3- النوية : Nucleolus

4- الكروماتين : Chromatin

*** الـــــغلاف الـــنووي The Nuclear Envelope :**

هو غشاء يحيط بالنواة من الخارج ويفصلها عن السايتوبلازم المحيط بها ، ويعد وجوده مهماً في تمييز الخلايا حقيقة النواة وذلك لانعدامه في خلايا بدائية النواة .

وهو يتألف من غشائيين رقيقين ، احدهما خارجي والاخر داخلي ويقدر سمك كل منهما بنحو 7 نانوميتر ، ويلتصق بسطح الغشاء الخارجي في معظم الخلايا عدد كبير من الرايبوسومات ويلتحم الغشاءان الداخلي والخارجي في مناطق (الثقوب النووية) ويتراوح عددها ما بين واحد الى 60 ثقباً نووياً ويحيط

بكل ثقب ثماني وحدات مؤلفة من بروتينات متعددة تكون مع الثقب معقد الثقب مما يؤدي الى تكوين ما يشبه القنوات الجزئية التي تسمح بمرور جزيئات معينه من خلالها لا يزيد قطرها عن 15 نانوميتر فقط حيث يمر نوعان من المواد خلال الثقوب النووية هما :

1- الحوامض النووية الرايبوزية المتكونة داخل النواة الى السايتوبلازم للقيام ببناء البروتين .

2-المواد البروتينية المتكونة بالرايبوسومات في السايتوبلازم الى داخل النواة لاستخدامها في بناء بعض التراكيب والانزيمات النووية .

كما تتصل الكروموسومات بالغشاء الداخلي للنواة الواقعة في منتصف المسافة بين الثقوب النووية .

*** الـــبلازمـــا الـــنوويـــة Nucleoplasm :**

عبارة عن محلول غروي نصف سائل ذي طبيعة حبيبية يكوّن وسطاً لمواد التفاعلات الحيوية في النواة . ويوجد بداخلة النوية والكروموسومات (الكروماتين) ويتكون هذا المحلول من مواد عضوية وغير عضوية اهمها الاحماض النووية والبروتينات وبعض العناصر المعدينة .

وتشمل الاحماض النووية كلاً من الحامض النووي معدوم الاوكسجين والحامض النووي الرايبوزي بانواعه الثلاث : الرسول mRNA والناقل tRNA والرايبوسومي rRNA ، واما البروتينات النووية فهي اما ان تكون بسيطة احماض امينية فقط او قد تكون بروتينات مقترنه تدخل في تركيبها مواد اخرى غير الاحماض الامينية . اما بخصوص العناصر المعدنية الموجودة في النواة فمعظمها ايونات عناصر غذائية كالبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم فضلاً عن الفسفور والصوديوم ويرتبط الكالسيوم بالمادة الوراثية في اثناء عملية النمو كما يدخل المغنيسيوم في تركيب الكروماتين (الكروموسومات) .

*** الـــنوية Nucleolus :**

هي جسيم كثيف داكن اللون صغير الحجم كروي الشكل يقع داخل البلازما النووي ويمكن ملاحظة بوضوح في خلية الطور البيني ، ولا تحاط النوية بغشاء يفصلها عن البلازما النووي ، وتحوي النواة نوية واحدة او اكثر ، وقد يصل عددها الى عشرات النويات ، يقل حجم النواة مع زيادة عدد النويات في النواة الواحدة ،وتتكون النويات نتيجة تجمع وحدات ثانوية صغيرة شبيهه بالوحدات الاولية التي تتكون

فيها الرايبوسومات وتحوي على احامض النووي الرايبوزي rRNA ، ويعتقد اكثر الباحثين بأن النوية هي المصدر الاساسي في تخليف الرايبوسومات حياتياً وذلك لانها غنيه بالحامض الرايبوزي RNA .

* الكروماتين Chromatin :

هو تركب معقد خيطي الشكل يتكون من الحامض النووي معدوم الاوكسجين المرتبط ببروتينات هستونية وبروتنيات غير هستونية وكذلك يحتوي على RNA وظيفة الأساسية هي ضغط DNA الطويل ليتناسب مع حجم النواة ، وتنظيم نشاط الجينات ، والتحكم في إمكانية وصول الانزيمات للـ DNA يمكن تمييز نوعين من الكروماتين في الكروموسومات هما :

1- الكروماتين المغاير Hetero chromatin :

2- الكروماتين الحقيقي Euchromatin :

* الـــتركيـــب الـــكيمياوي للـــنواة : The Chemical Structure for Nucleus

1- الحامض النووي معدوم الاوكسجين (DNA) :

تتناسب كمية الحامض طردياً مع عدد الكروموسومات الكائن الحي ، رغم عدم وجود علاقة بين كمية DNA ومدى تطورها الحياتي ، وتزداد كمية الحامض الى الضعف اثناء عملية الانقسام ، ويعمل الحامض لنقل الصفات الوراثية من جيل لأخر .

2- الحامض النووي الرايبي (RNA) :

يوجد هذا الحامض بانواعه الثلاث (الرسول ، الرايبوزي ، الناقل) بكميات قليلة في النواة لاسيما النوية حيث اثبتت الدراسات الحديثة انه يصنع في النواة ثم ينقل الى السايتوبلازم الذي يتوفر فيه بكثرة ليساهم بشكل رئيسي في تخليق البروتين .

3- البروتينات النووية Nuclear proteins :

يمكن تقسيم البروتينات النووية على نوعين :

أ- بروتينات قاعدية هستونية التي تكون غنية بالحوامض الامينية القاعدية مثل الارجنين واللايسين التي تتحد مع DNA بنسب متساوية تقريباً لتكوين الكروماتين .

ب- بروتينات حامضية لاهستونية التي تكون غنية بالحوامض الامينية الحامضية التي يتحد بعضها مع الشحوم لتكوين الشحوم المستقرة او مع الكاربوهيدرات لتكوين البروتينات السكرية .

4- الشحوم Lipids :

توجد الشحوم بشكل مركبات معقدة داخل النواة مثل شحوم فوسفاتية او بروتينات شحمية .

5- العناصر المعدنية Metal ions

توجد بشكل ايونات البوتاسيوم والكالسيوم وغيرها .

6- الانزيمات Enzymes

تحوي النواة الكثير من الانزيمات المحلله للحوامض النووية والبروتينات والشحوم فضلاً عن وجود انزيمات منظمة اخرى .

الواجب اليومي :

- عرف الفجوات مع ذكر اهم الوظائف التي تقوم بيها .

- ماهي الأهمية الحيوية النواة ؟

الواجب الأسبوعي :

- اكتب مقال علمي عن تركيب واهمية الكروماتين .

* الـــكروموسـومـــات The chromosomes :

عبارة عن اجسام لولبية الشكل داكنة اللون وصف عام 1880، وكل كروموسوم يمثل قضيباً ملتفاً على بعضه التفافاً متراصاً كالملف coil يمكن مشاهدته بالمجهر الضوئي . حيث يتكون الكروموسوم الواحد من جزء من الحامض النووي DNA المتحد مع بعض البروتينات القاعدية الهستونية مع قليل من RNA وبعض الشحوم . وتختلف الكروموسومات عن بعضها بالشكل والحجم وفي موقع السنترومير وطول الاذرع على جانبيه الا ان عددها في الخلية بشكل عام يكون ثنائي المجموعة الكروموسومية بأستثناء الخلايا الجنسية (الكميتات) التي تحتوي على عدد فردي من الكروموسومات ، فمثلاً يكون عددها في الخلية الجسمية للانسان 46 كروموسوم ثنائي أي تتضمن مجموعتين متماثلتين من الكروموسومات ، لكن توجد في الخلايا الجنسية (البيضة او الحيمن) 23 كروموسوم . وعند الانقسام فأن الكروموسومات الموجودة في الخلايا الجسمية تتضاعف وتصبح عددها 92 كروموسوماً وبهذا يمكن تعريف الكروموسومات بأنها :

وحدات وراثية مستقلة لها شخصية ذاتية ولها خواص فسلجية ، قادرة على مضاعفة تركيبها الطبيعي والكيميائي في اثناء انقسام الخلية .

يوجد في كل كروموسوم نوعان من التخصر :

1- التخصر الاولي Primary constriction : هو التخصر الذي يمثل منطقة الحركة في الكروموسوم هو (السنترومير) التي تتصل به الياف المغزل حيث لكل كروموسوم ستترومير واحد ذو موقع معين يختلف باختلاف الكروموسوم مما يؤدي الى تكوين كروموسومات متساوية الاذرع او غير متساوية الذراعين او ذات ذراع واحدة .

2- التخصر الثانوي secondary constriction : او موقع تنظيم النوية حيث يتم خزن الشفرة الوراثية ففي حالة وجود خمس نويات في الخلية ، فتوجد خمسة تخصرات ثانوية .

* الكروموميرchromomere

هو جسم صغير ثخين نسبياً يقع على طول الكروموسوم كحبات المسبحة تمثل التفافات حلزونية على طول الكروموسوم وتختلف الكروموميرات في عددها وشكلها وطريقة توزيعها من كروموسوم الى اخر ويرى علماء الوراثة انها تطابق الجينات او مجاميع من الجينات.

*** تصنيف الكروموسومات :**

1- كروموسومات جسمية somatic chromosomes :

التي تكون على هيئة ازواج ، بحيث تكون الكروموسومات متماثلة من حيث الشكل والحجم وموقع السنترومير وعدد الجينات . لهذا تسمى ايضاً الكروموسومات المتماثلة.

2- كروموسومات جنسية Sex chromosomes :

التي تكون مسؤولة عن تحديد الجنس ، ويحمل الانسان وكثير من الكائنات الحية زوجاً واحداً غير متماثل من الكروموسومات الجنسية ، اذ يحمل احد الكروموسومين الصفة الذكرية ويحمل الكروموسوم الاخر الصفة الانثوية .

ويمكن تقسيم الكروموسومات ايضاً الى ثلاث انواع حسب اشكالها وموقع السنترومير وكما يأتي :

1- كروموسوم وسطي السنترومير Metacentric ذراعاه متساويان لوجود السنترومير في الوسط .

2- كروموسوم غير وسطي السنترومير Sub metacentric اذ ينحرف موقع السنترومير عن الوسط فيصبح احد ذراعي الكروموسوم اطول من الذراع الاخر .

3- كروموسوم نهائي السنترومير Telocentric اذ يكون السنترومير بالقرب من طرف الكروموسوم فيبدو بشكل عصا ولهذا يسمى هذا النوع احياناً كروموسوم وحيد الذراع .

* المكونات الكيميائية للخلية : The Chemical Components of The Cell

تتشابه الخلايا المختلفة من حيث نوعية هذه المكونات الا انها تختلف من حيث نسبها وكمياتها ، وبصورة عامة فأن الخلية تحتوي على نوعين من المركبات هما :

أ- المركبات العضوية : Organic Compounds والتي تشمل :

1- الكاربوهيدرات Carbohydrates :

هي عبارة عن جزيئات مكونة من الكاربون والهيدروجين والاوكسجين على التوالي وقد يحتوي بعضها على النتروجين والكبريت وهي على نوعين كاربوهيدرات بسيطة تتكون من سلاسل قصيرة من ذرات الكاربون ، والكاربوهيدرات المعقدة التي تتكون من سلاسل طويلة من السكريات الاحادية المرتبطة مع بعضها وتحتوي على كثير من الاواصر (C-H) التي تخزن فيها الطاقة لذلك فأن وظيفة الكاربوهيدرات الاساسية هي تخزين الطاقة في هذه الاواصر التي تتحرر عند كسرها .

2- الشحوم Lipids :

عبارة عن مركبات مختلفة غير قابلة للذوبان في الماء لكنها تذوب في المذيبات العضوية كالكحول والايثر وتعد الاحماض الدهنية الوحدة البنائية الاساسية لهذه الشحوم .

3- البروتينات Proteins : يتكون البروتين من سلسلة طويلة واحدة او اكثر من وحدات بنائية من الاحماض الامينية المرتبطة مع بعضها بواسطة روابط قوية تسمى الاواصر الببتيدية حيث تتكون من عناصر الكاربون والهيدروجين والاوكسجين والنيتروجين والكبريت التي تشكل نسبة عالية من وزن الخلية الجاف .

ويمكن تقسيم البروتينات على اساس فعاليتها الحيوية الى :

1- البروتينات الناقلة Transport pro. :

تحمل الغازات والغذاء من موقع الى اخر داخل جسم الكائن الحي كما في بروتينات الدم كالهيموغلوبين والمايوكلوبين .

2- البروتينات الخازنة .Storage pro :

تعمل على خزن المواد الغذائية (الطاقة) كالالبومين والكازلين

3- البروتينات المتحركة .Moving pro :

وهي تساعد على تقلص وانبساط الاعضاء كالأكتين والمايوسين .

4- البروتينات الهيكلية .skeletal pro :

وهي التي تقوم ببناء بعض الاجزاء الخلوية كالكولاجين الذي يكون الروابط بالجسم والمطاطين فضلاً عن الكيراتين الذي يدخل في تكوين الجلد والشعر والقرون والاظافر.

5- البروتينات الدفاعية .protective pro:

وهي التي تكسب الجسم المناعة الدفاعية في حالات الامراض كما في الاجسام المضادة والفايبرنوجين والسموم المضادة للبكتريا .

6- الروتينات المنظمة .Regulated pro :

وهي التي تنظم فعاليات الجسم الحيوية كالهرمونات

7- بروتينات اخرى كالبروتينات المضادة للتجميد في اجسام الاسماك القطبية .

8- الانزيمات Enzymes :

هي بروتينات تعمل كعوامل مساعدة لتعجيل تفاعلات الخلية الكيمياوية من خلال اتحادها مع المادة الاساس substrate لتكوين معقد انزيم – مادة الاساس والذي يتحلل الى انزيم حر وناتجة .تحتوي الخلية الحية نمو ثلاثة الالف انزيم ، لكل منها اسه الهيدروجيني الامثل ودرجة حرارة المثلى الذي يبلغ نشاط الانزيم ذروته فيها .

4- الحوامض النووية Nucleic acids :

تكون هذه الجزيئات العضوية الكبيرة داخل النواة وتتكوّن من سلاسل طويلة التي تتكون من عدد من وحدات احادية تسمى النيوكليوتيدات .

التي ترتبط مع بعضها باواصر فوسفاتية . وهناك نوعان من الحوامض النووية :

1- Deoxy Ribonucleic Acid (DNA) : الذي يوجد في النواة .

2-Ribonucleic acid (RNA) والذي يوجد في النواة والسايتوبلازم .

ب- المركبات اللاعضوية Inorganic Compounds: وتشمل

1- الماء Water : وهو الجزء الاساسي والمهم في بناء معظم الخلايا الحية وتختلف نسبته من خلية لأخرى وبشكل عام تتراوح نسبته بين 1% في خلايا الشعر والاظافر الى 96% في خلايا بعض النباتات وللماء وظائف عديدة منها

1- يساعد على حفظ درجة حرارة الخلية (وسط للتبريد) .

2- ينظم الاس الهيدروجيني PH .

3- يعد مذيب جيد لكثير من المركبات الموجودة في الخلية .

4- بوجوده تتم معظم التفاعلات الحيوية داخل الخلية .

5- يعد الماء ناقل جيد لكثير من المواد .

لهذه الاسباب يعد الماء ضروري لحياة الخلية وفقدانه يؤدي الى هلاك الكائن الحي .

2- الاملاح والايونات The Salts and Ions:

وتشمل جميع الاملاح والحوامض والقواعد التي يمكنها التأين الى ايونات موجبة وسالبة مثل ملح الطعام Na+ cl- وحامض الهيدروليك Hcl .

وتبرز اهمية الايونات من خلال دورها في المحافظة على تنظيم الضغط الاوزموزي للخلية وجعل ماء الخلية في حالة توازن فضلاً عن دورها في تجديد شكل الجزيئات الكبيرة وتركيبها في الخلية فمثلاً تدخل ايونات الفوسفات po4 في تركيب الاحماض النووية وايونات الفوسفات الحامضية Hpo4 في تركيب بعض البروتينات وايونات الحديدوز تدخل في تركيب الهيموغلوبين ، وهناك بعض الانزيمات المهمة حياتياً يدخل في تركيبها ايونات المغنيسيوم والمنغنيز اما ايونات الفوسفات تدخل ايضاً في تركيب ATP المزود الرئيسي للطاقة الكيميائية في الجسم . كما تدخل ايونات الكاسيوم في تركيب العظم . ومن هذا يتضح دور الاملاح وايوناتها في الخلية الحية .

3- الغازات Gases :

توجد الكثير من الغازات بشكل ذائب داخل الخلية فمثلاً يوجد الاوكسجين مذاباً في ماء الخلية ويقوم بأكسدة الكثر من مركبات الخلية لتوليد الطاقة اللازمة للبناء الحيوي ، كما انه يتحد مع الكاربون لإنتاج co2 الذي يستخدم في عملية التركيب الضوئي في النباتات التي تتحكم في استمرار الحياة في الكائنات الحية .

كما ان الفطريات والبكتريا والطحالب تستعمل احد الغازات هو الغاز النيتروجيني الموجود في التربة .

*** الايـــــــــض Metabolism :**

يمكن تعريف الايض بانه (مجموعة التفاعلات الكيمياوية الحيوية داخل الخلية الحلية ، التي تنظمها وتسيطر عليها عوامل انزيمية وغير انزيمية) وعملية الايض عملية معقدة لها اربع وظائف مهمة هي :

1- الحصول على طاقة كيمياوية من هدم او تحلل جزيئات الغذاء الغنية بالطاقة .

2- استعمال هذه الطاقة لتحويل جزيئات الغذاء الى مواد بناء اولية مثل الاحماض الامينية وسكر الكلوكوز .

3- تخليق البروتينات والشحوم والسكريات المعقدة والحوامض النووية حياتياً من مواد البناء الاولية.

4- تخليق مكونات خلية جديدة ثم تحليلها اذا انتفت الحاجة اليها .

* يمكن تصنيف العمليات الايضية الى نوعين :

1- الايض الهدمي Catabolism التي تحلل الجزيئات الغذائية الغنية بالطاقة .

2- الايض البنائي Anabolism التي تحدث فيها عمليات التخليق الحياتي لمكونات خلوية حياتية .

* تحدث عملية الايض الهدمي في ثلاث مراحل اساسية :

1- تكسير الجزيئات الكبيرة الى مواد بناء اولية كما هو الحال عند تكسير البروتينات الى احماض امينية والسكريات المعقدة الى كلوكوز .

2- تتم اكسدة الاحماض الامينية والكلوكوز الى A cetyl Co.A .

3- يتم تحويل A cetyl co.A الى حامض ثلاثي الكاربوكسيل T.A.C او دورة كربيس والتي ينتج منها CO2 وغاز الامونيا والطاقة الحيوية على شكل ATP .

اما عملية البناء فهي تختلف باختلاف المادة المراد تكوينها كما تأخذ وقت اطول من عملية الهدم .

الواجب اليومي :

- تكلم عن أنواع التخصرات في الكرموسوم ؟

- صنف الكروموسومات .

- ماهو التركيب الكيمياوي للخلية ؟

الواجب الأسبوعي :

- اكتب مقالة علمية حول أنواع ووظائف البروتينات ؟

* الانـقـسـام الـــخلوي Cell division :

* الانـقســـــــام الـلاخيـــــــطـــي او الـــــمباشر Amitosis :

يكون شائع في الكائنات بدائية النواة حيث تنقسم البكتريا انقساماً مباشراً وبسيطاً او يدعى بالانشطار الثنائي Binary fission حيث توجد المعلومات الوراثية في البكتريا على شكل حلقة مفردة من جزيئة الـ DNA مزدوجة الخيط ترتبط في نقطة واحدة بالغشاء البلازمي للخلية من الداخل ، ويتم تضاعف هذه المعلومات الوراثية في وقت مبكر من حياة الخلية وقبل بدأ الانقسام ، حيث توجد منطقة خاصه على الكروموسوم تسمى منشأ التضاعف Replication Origin تحتوي على مجموعه من الانزيمات تقدر باكثر من (22) انزيماً مختلفاً تقوم بالعمل على تكوين نسخة كاملة مطابقة من جزيئة DNA أي ان تصبح هناك نسختان متطابقتان من المعلومات الوراثية داخل الخلية ترتبط جنباً الى جنب مع الغشاء البلازمي من الداخل . وبعد نمو الخلية وبلوغها الحجم المناسب الذي يحفز بدء عملية الانقسام السايتوبلازمي التي تبدأ بتكوين مواد الجدار الخلوي والغشاء البلازمي الجديد و وضعها في المنطقة الفاصلة بين نسختي DNA المتجاورتين الى ان تنقسم الى نصفين متساويين تقريباً تسمح بانتقال كل حلقة من DNA الى الخلية الجديدة وبعد اكمال تخصر الغشاء البلازمي نحو الداخل يتكون بعد ذلك جدار خلوي جديد حول الغشاء البلازمي من الخارج وتتكون جميع التراكيب الموجودة اصلاً في الخلية الام .

* الانـقســـــــام الـخيـطـــــي او الـــغيـــر مبـــــــــاشر Mitosis :

ينتج هذا النوع من الانقسام الخلوي خليتان بنويتان متساويتان في الحجم وحاويتان على نفس العدد الاصلي من الكروموسومات ، ان هذا النوع من الانقسام ضروري لنمو الكائن متعدد الخلايا او من اجل تعويض الخلايا التالفة ،

مثال على ذلك تلف كريات الدم الحمر حيث يبلغ عمرها حوالي مائه وعشرون يوم ولذلك فهناك حاجة مستمرة للتعويض عن هذا التلف .

تحصل اثناء الانقسام الخيطي تغيرات عديده لذلك يقسم الى عدة اطوار وهذه هي :

1- الطور البيني Interphase:

وهو الطور الواقع بين انقسامين خيطين ولا تبدو على الخلية اية تغيرات ظاهرة على المستوى المجهري ولكن الخلية تكون بحالة نشطة وتتهيأ للانقسام وكذلك تتضاعف كمية DNA في هذا الطور فتكون الخلية حاوية 92 كروموسوم .

2- الطور التمهيدي prophase (30 – 60) دقيقة :

يبدأ هذا الطور بتكثف الكروموسومات وبظهورها كخيوط رفيعة داخل النواة ويزداد هذا التكثف مع تقدم الطور ويلاحظ التركيب المزدوج لكل كروموسوم فيظهر مكوناً من كروماتيدين شقيقين كما يصبح التخصر الاولي واضحاً في هذا الطور . كذلك تمتد تغيرات في السايتوبلازم تؤدي الى تكوين المغزل (عبارة عن نبيبات دقيقة) حيث يوجد في الخلية في بداية الطور التمهيدي زوجان من المريكزات كل زوج محاط بنبيبات تمتد على شكل شعاعي تسمى النجم ويهاجر المريكزات مع النجم باتجاه احد قطبي الخلية بينما يهاجر الاخر الى القطب المضاد وتطول خيوط المغزل بينهما ويستقر كل زوج من المريكزات في احد قطبي الخلية ، تختفي النواة والغشاء النووي في مرحلة متأخرة من هذا الطور .

3- الطور الاستوائي Metaphase(2 – 6) دقيقة :

تبدأ الكروموسومات بالتوجه نحو مركز الخلية حيث تكون خيوط المغزل قد غزت المنطقة ، تتصل الكروموسومات بهذه الخيوط عند القطعة المركزية centromere وتتحرك الكروموسومات بصورة اهتزازية وتترتب الكروموسومات في منطقة استواء المغزل مكونة صفيحة استوائية .

4- الطور الانفصالي Anaphase(2-3) دقيقة :

وهو اقصر اطوار انقسام الخلية حيث تنفصل فيه الكروموسومات الى كروماتيدات شقيقة ويتجه كل كروماتيد الى احد قطبي الخلية وتحدث هذه العملية في وقت واحد لجميع الكروموسومات نتيجة لسحبها من قبل خيوط المغزل الى القطبين المتضادين للخلية .

5- الطور النهائي Telophase (30 – 60) دقيقة :

يبدأ هذا الطور بوصول الكروماتيدات الى قطبي الخلية ويبدأ الكروموسوم المتلولب بالانفكاك وتتحول الى الشكل الممتد ليصبح اكثر فعالية فتظهر قدرتها الجينية مبتدئة بجينات rRNA ثم تتكون النواة مرة ثانية في الخلية الجديدة وكذلك يسمى هذا الطور بطور اعادة تكوين النواة حيث يتفكك جهاز المغزل والنبيبات الدقيقة الى وحداتهما الاولية من بروتن الذي يستخدم في بناء الهيكل السايتوبلازمي في الخلايا الجديدة كذلك يبدا الغلاف النووي بالتكوين مرة اخرى وعندما يتم تكوين النواتين النوويتين يتخصر السايتوبلازم بين الخليتين الجديدتين وتتوزع العضيات السايتوبلازمية بينهما بصورة متعادلة اما في الخلية النباتية فتتكدس بعض حويصلات كولجي قرب مركز الخلية مكونة الصفيحة الخلوية cell plate

وتتكدس على جانبيها المواد التي تكون الجدار الخلوي والذي سيكون جدار الخلية ويمتد هذا مكوناً الحد الفاصل بين الخليتين الجديدتين اما في حالة الطحالب فينشأ جدار جديد .

*** الانـــقســـــام الاخـــــتزالـــــــي Meiosis :**

يحدث هذا الطراز من الانقسام في الكائنات حقيقة النواة فقط وهو يحصل في خلايا معينه من الكائن متعدد الخلايا كل خلية قادرة على هذا النوع من الانقسام تدعى Meiocyte ويحدث نتيجة هذا الانقسام تنصيف لعدد الكروموسومات في الامشاج ، وبعد اتحاد نوى هاتين الخليتين يعود العدد الاصلي وتنتج خلية ثنائية المجموعة الكروموسومية .

يمكن تقسيم هذا الانقسام الى مرحلتين رئيسيتين هما :

1-الانقسام الاختزالي الاول Meiosis I

2- الانقسام الاختزالي الثاني Meiosis II

* يتميز الانقسام الاختزالي الاول بالأطوار التالية :

1- الطور التمهيدي الاول prophase I

هذا الطور يتميز الى الادوار التالية :

أ- الدور القلادي Leptonema :

يشابه هذا الدور الطور التمهيدي في الانقسام الخيطي ماعدا كون الخلية والنواة اكبر حجماً والكروموسومات اكثر طولاً وتبدو على الكروموسومات حبيبات صبغية تسمى بالكروموميرات فضلاً عن كل كروموسوم يشبة خيط منفرد رغم كونه مكون من كروموماتيدين متصلين بسنترومير واحد .

ب- الدور التزاوجي Zygonema :

ان تحرك الكروموسومات هو الذي يحدد بدأ هذا الدور ، حيث يتحرك كل كروموسوم متجهاً نحو مثيله (كل كروموسوم ابوي له مثيل يحتوي نفس الجينات عادة آت من الام)

حيث تتراصف الكروموسومات المتماثلة وتسمى هذه الظاهرة بالاقتران او الايثاق .

ان القوة التي تؤدي الى هذه الظاهرة لازالت غير معروفه ولكن يعتقد بأنها ذات طبيعة كهربائية .

ج- الدور التغلظي Pachynema :

في هذا الدور يتم الالتفاف الكامل بين كل كروموسومين متماثلين ، وتصبح الكروموسومات اكثر تكثفاً وسمكاً واكثر طولاً وذات توزيع عشوائي داخل النواة ، كما نشاهد النوية بوضوح . تحدث عملية العبور Crossing Over في هذه المرحلة حيث يتم العبور بين الكروميتدات الاربعة من خلال نقطة العبور chiasma وتعني بالاغريقية تهجين . اذ يتم قطع جزئي من كل كروماتيد بأنزيم ثم يتم تبادل الاجزاء المقطوعة مع بعضها البعض بمساعدة معقد الاقتران الذي يعمل كجسر بين الكروموسومين ومن ثم يتم لحم الاجزاء المتبادلة بأنزيم لاحم للـ DNA يسمى DNA ligase مما يؤدي الى تكون تراكيب جديده للجينات .

د- الدور الانفراجي Diplonema :

يحاول كل كروموسوم الابتعاد عن مثيله (الملتصق) به الا ان هذا الابتعاد يكون غير كامل بسبب ارتباط الكروماتيد الداخل من كل كروموسوم مع مثيله في الكروموسوم المماثل الاخر بنقاط العبور كما يتميز هذا الدور ايضاً بازدياد حلزونه الكروموسومات وازدياد قطرها .

هـ- الدور التشتتي Diakinesis :

يزداد ابتعاد الكروموسومات عن بعضها ويرتبط كل كروموسومين متماثلين مع بعضهما عند الاطراف نتيجة لانزلاق (تقاط العبور) كما تضمحل النواة ويبدأ الغلاف النووي بالاضمحلال وتبدأ الكروموسومات بالتحرك الى منطقة استواء المغزل ويكون هذا اشاره الى انتهاء مرحلة الطور التمهيدي بداية الطور الاستوائي .

2- الطور الاستوائي Metaphase I :

في هذا الطور تنتظم ازواج الكروموسومات المتماثلة في وسط الخلية على الصفيحة الاستوائية للمغزل وان اتجاه أي كروموسوم من الكروموسومات المتماثله على محور المغزل يكون عشوائياً بحيث يكون حركة كل كروموسوم نحو أي قطب من اقطاب الخلية خاضعة للصدفة .

3- الطور الانفصالي الاول Anaphase I :

يبدأ هذا الطور بأنفصال الكروموسومات عن بعضها وتوجه كل كروموسوم اخوي الى قطب من قطبي الخلية أي ان نصف العدد الاصلي من الكروموسومات يوجد في كل قطب من قطبي الخلية بعد المرحلة الانفصالية في بعض الاجناس يبدأ الانقسام الثاني بعد الطور الانفصالي مباشرة وفي اجناس اخرى يمر بالطور النهائي .

4- الطور النهائي Telophase I :

يبدأ هذا الطور مع وجود مجموعة كاملة من الكروموسومات في قطبي الخلية حيث تتضمن كل مجموعة كروموسوم واحد من الكروموسومين المتماثلين ، ويشتمل كل كروموسوم على كروماتيدين متشابهين مرتبطين بسنترومير واحد ويكونان غير متطابقين وراثياً بسبب عملية العبور التي حدثت في الطور التمهيدي الاول كما تختفي خيوط المغزل وتظهر النويات والغلاف النووي وقد تتكون الاغشية الفاصلة بين النواتين الجديدتين او قد تواصل كلتا النواتين عملية الانقسام الاختزالي الثاني لتكون اربعة انوية ثم تتكون الاغشية الفاصلة فيما بعد .

*** الانقسام الاختزالي الثاني :**

يوصف هذا الانقسام بكونه انقساماً خيطياً Mitosis لان المراحل متشابهه لما يحدث في الانقسام الخيطي بالضبط ، اذ ينفصل الكروماتيدان الغير شقيقان لكل كروموسوم عن بعضهما وتتكون اربعة انوية وغالباً ما يتبعها بصورة مباشرة انقسام السايتوبلازم Cytokinesis لتكوين اربعة خلايا منفصلة كل منها تحتوي نصف العدد الاصلي من الكروموسومات .

الواجب اليومي :

- قارن بين الانقسام الخيطي و الانقسام اللاخيطي .

- قارن بين الانقسام الخيطي و الاختزالي .

قارن بين الانقسام الاختزالي الأول و الثاني .

الواجب الأسبوعي :

- اكتب تقرير عن ظاهرة العبور (التهجين) .

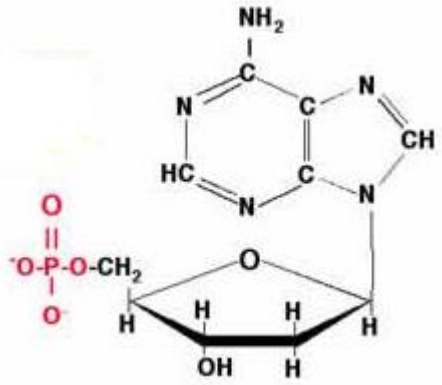
أنواع الأحمـــــاض النووية Kinds of Nucleic Acid

يوجد نوعين من الأحماض النووية كما تقدم..هما:

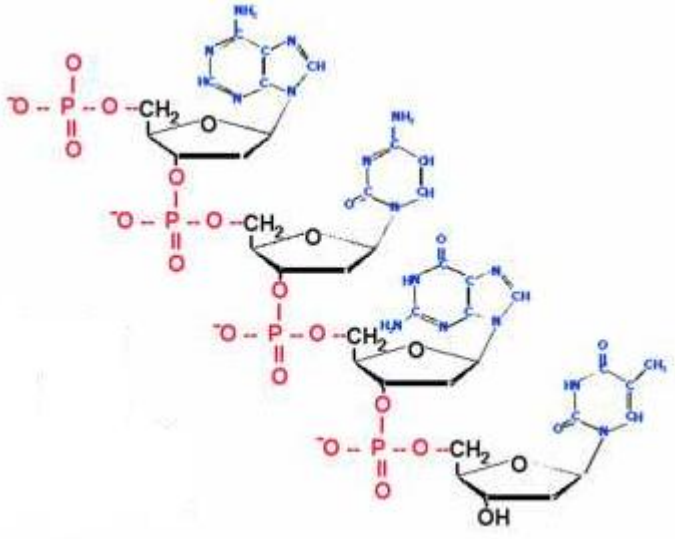
أ/ الحمض الرايبونيوكلتيدي Ribonucleic Acid (RNA)
ب/ الحمض الديؤكسي رايبونيوكلتيدي Deoxyribonucleic Acid (DNA)

ويتكون البناء الأساسي لهده الأحماض من سلاسل بها جزيئات حمض فسفوريك وسكر بالتبادل ويتصل بكل جزيء من جزيئات السكر قاعدة آزوتية إما من نوع البيورين أو البيرميدين ، والسكر الموجود بجزيء الحمض الرايبونيوكلتيدي (RNA) هو سكر الرايبوز بينما في جزيء الحمض الديؤكسي رايبونيوكلتيدي (DNA) فهو سكر الديؤكسي رايبوز....شكل (1) ، شكل (2)

(**1**) يوضح هيكل بناء الـ(**DNA**)



شكل (**2**) يوضح هيكل بناء الـ (**DNA**) أو الـ(**RNA**)

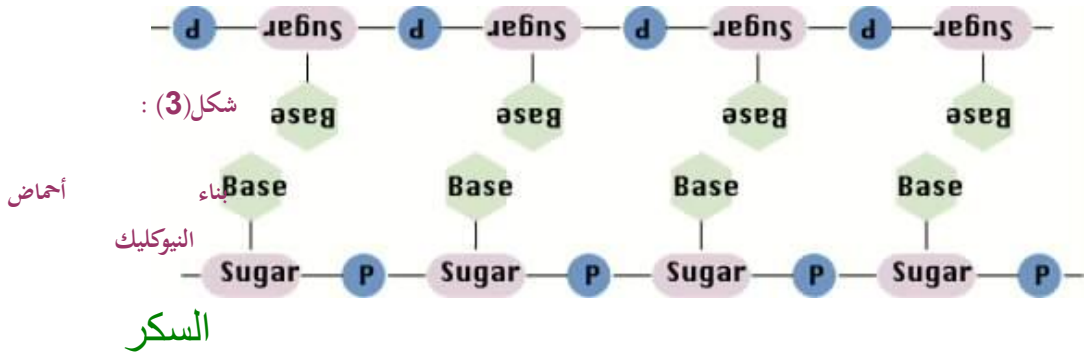


مكونات أحماض النووي :

يتكون من ثلاثة أنوع من المركبات كما ذكرنا:

- حمض الفسفوريك.
- سكر خماسي الكربون وهو سكر الرايبوز أو دي – أوكسي – رايبوز.
- وقواعد نيتروجينية تتبع البيورينات أو البيرميدينات ،،،،، شكل(3)

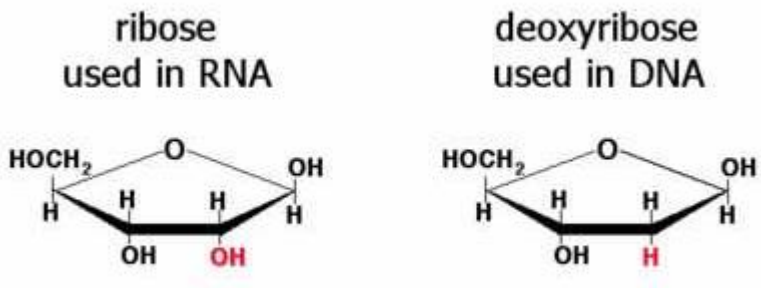
وسوف نتناول كل منهم بشيء من التفصيل...



الخماسي Pentose Sugar_

يوجد بأحماض النيوكليك نوعان من السكر الخماسي ، أحدهما هو D – رايبوز ويوجد في حمض (RNA) ، والثاني ديؤكسي رايبوز ويوجد في حمض (DNA) ، شكل (4) وأعطيت ذرات كربون السكر الخماسي الأرقام التالية 1َ، 2َ ، 3َ، 4َ، 5َ لتمييزها عن الأرقام المعطاة لذرات الكربون والنيتروجين الموجودة في البيرميدين والبيورين. ومن الخصائص الهامة للسكر الخماسي هو قدرة المجاميع الهيدروكسيلية على تكوين إسترات مع حمض الفسفوريك وخاصة تلك المجاميع الموجودة على الكربون الثالث والكربون الخامس.

شكل (4) يوضح سكر الرايبوز والديؤكسي رايبوز



البيورينات والبيرميدينات Pruines & Pyrimidine

1/قواعد بيورينية : وتنتج من التحام حلقة إيميدازول الخماسية مع حلقة البيرميدين وأهم هذه القواعد

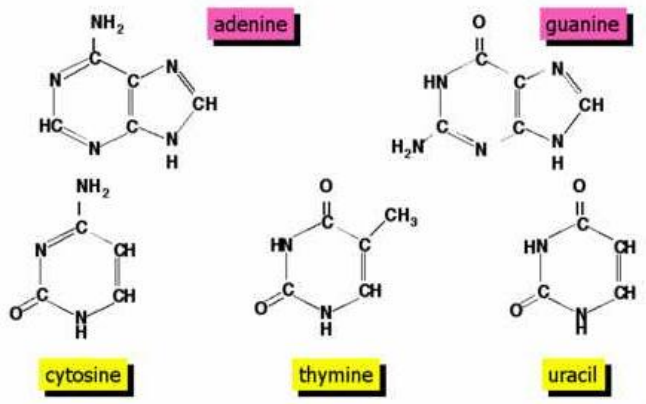
- ☒ أدينين Adenine
- ☒ جوانين Guanine

2/ قواعد بيرميدينية : وهذه القواعد مشتقة من البيرميدين بإستبدال ذرات الهيدروجين الموجودة على كربون رقم 2،4،5 بمجاميع أمينو أوهيدروكسيل أو ميثايل وأهم هذه القواعد

- ☒ سيتوزين Cytosine
- ☒ يوراسيل Uracil
- ☒ ثايمين Thymine

ويحتوي كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA على القاعدتين الآزوتيتين من البيورين وهما الأدينين Adenine والجوانين Guanine ونجد أيضاً أن كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA يحتوي على قاعدة آزوتية من نوع البيرميدين وهي سايتوزين Cytosine ولكنهما يختلفان في القاعدة الآزوتية الثانية من نوع البيرميدين فبينما يحتوي الحمض النووي RNA على القاعدة الآزوتية يوراسيل Uracil يحتوي الحمض النووي DNA على القاعدة الآزوتية ثايمين Thymine شكل (5)

شكل (5): يوضح كل من القواعد النيتروجينية (البيورينية والبيرميدينية)



مجموعة الفوسفات Phosphate Group

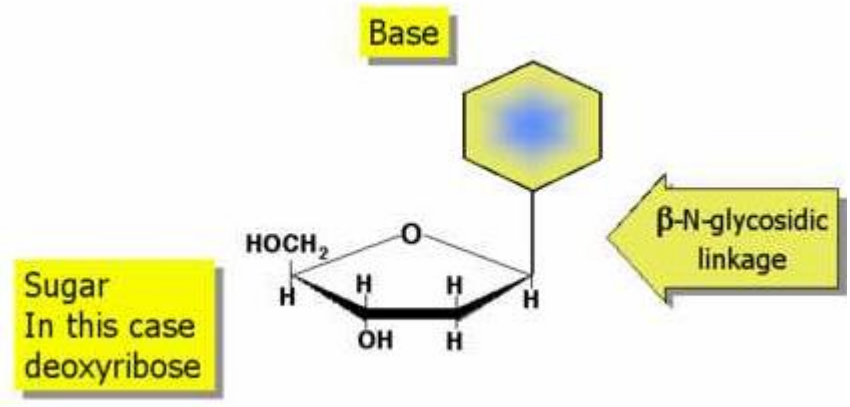
تربط مجموعة الفوسفات بين مجموعات السكر الخماسية في سلاسل كل من الحمضين (DNA) و (RNA) .

النيوكليوزيدات Nucleosides

النيوكليوزيدات هي مركبات ناتجة من اتحاد أحد جزيئات القواعد الآزوتية من نوع البيورين أو البيرميدين مع جزيء السكر بيتا- رايبوز أو بيتا- ديؤكسي رايبوز برابطة جليوكسيدية (بيتا) ، وفيها تتصل القاعدة الآزوتية مع مجموعة هيدروكسيل هيمي أسيتال على ذرة الكربون الأولى للسكر. ومكان اتصال القاعدة الآزوتية بالسكر

هو ذرة النيتروجين رقم 9 في البيورينات (الأدينين والجوانين) بينما في البيرميدين فمكان الاتصال مع السكر هو ذرة النيتروجين رقم 1 شكل (6).

شكل (6) : النيوكليوزيدة



النيوكليتيدات Nucleotides

النيوكليتيدات هي إسترات حمض الفوسفوريك للنيوكلوزيدات وهناك واحدمن أهم النيوكليتيدات الموجودة طبيعياً وهو الأدوينوسين أحادي الفوسفات وهذا المركب(AMP)مع إثنين من مشتقاته وهما أدينوسين ثنائي الفوسفات(ADP)وأدينوسين ثلاثي الفوسفات(ATP)يلعب دوراً هاماً في حفظ الطاقة وفي الإستفادة من الطاقة المنطلقة خلال عمليات التمثيل الغذائي بالخلايا والأهمية الفسيولوجية لهذه المركبات تكمن في قدرتها على إعطاء وإكتساب مجموعات فوسفاتية في التفاعلات البيوكيميائية شكل(7). وتسمى النيوكليوز يدات والنيوكليتيدات تبعاً للقاعدة النيتروجينية الموجوده بها وهناك عدة أنظمة للتسمية .

الواجب اليومي :

- ماهي وظائف الحامض النووي DNA .

- ما هي مكونات الحامض النووي .

الواجب الأسبوعي :

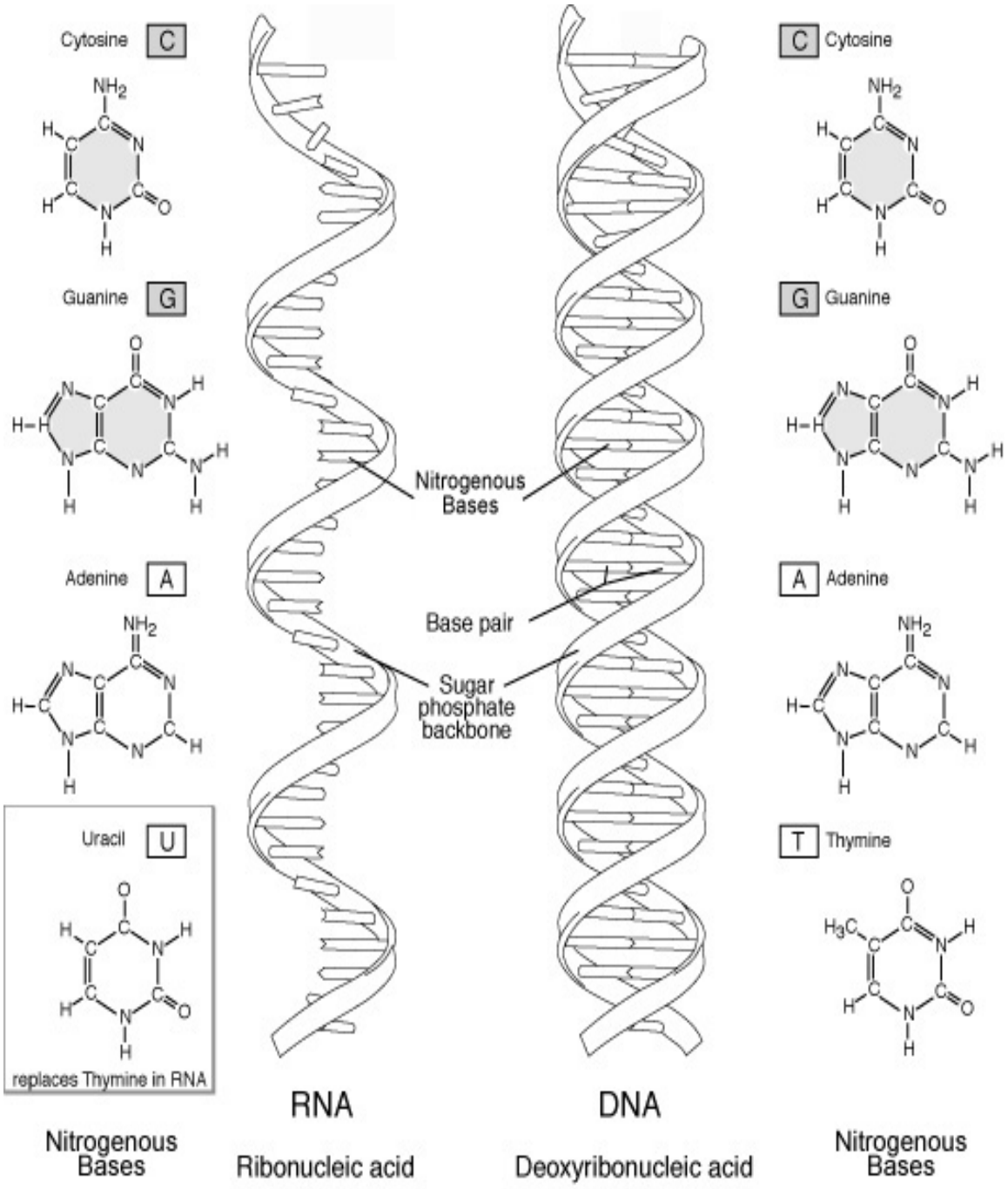
- اكتب مقالة علمية عن عملية تضاعف الحامض النووي DNA .

تركيب حامض الرانا Structure Of RNA

يكون الـ (RNA) بين 5-10% من الوزن الكلي للخلية وهناك 3 أنواع رئيسية من هذا الحامض النووي :

- RNA الرسول (Messenger RNA) .
- RNA الرايبوسومي (Ribosomal RNA) .
- RNA الناقل (Transfer RNA) .

ولكل نوع من الأنواع الثلاثة وزن جزيئي وتركيب خاص به من القواعد النيتروجينية. ويحتوي كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA على القاعدتين الآزوتيتين من البيورين وهما الأدينين Adenine والجوانين Guanine ونجد أيضاً أن كلاً من الحمضيين النوويين DNA و RNA يحتوي على قاعدة آزوتية من نوع البيرميدين وهي سايتوزين Cytosine ولكنهما يختلفان في القاعدة الآزوتية الثانية من نوع البيرميدين فبينما يحتوي الحمض النووي RNA على القاعدة الآزوتية يوراسيل Uracil يحتوي الحمض النووي DNA على القاعدة الآزوتية ثايمين Thymine شكل (11).



شكل(11): يوضح الفرق بيت الحمض النووي DNA و RNA

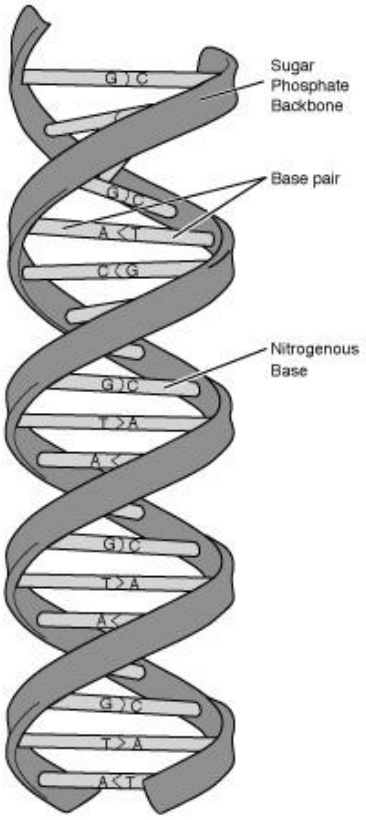
تركيب الحمض النووي الدؤكسي ريبوز Structure Of DNA

لاحظ العالم تشارجاف Chargaff أن نسبة الادنين الى الثايمين تقارب 1 وأيضاً نسبة السيتوزين إلى الجوانين تقارب إلى حد كبير 1 في جزيء الحمض النووي DAN وان هذه النسبة لها اهمية كبيره في ايجاد تركيب هذا الحمض . ولقد وجد بعد ذلك ان نيوكليتيدات الادنين والثايمين يمكن ان تزدوج بواسطة رابطتين هيدروجينيتين بينما السايتوزين

والجوانين يمكن ان ينظما بالنسبة لبعضهما بوضع خاص في جزيء الحمض النووي يسمح بتكوين ثلاثة روابط هيدروجينية بينهما شكل (9) و شكل (10) و شكل (11) .

ولقد لاحظ العالم ولكنز Wilkins بانجلترا بستخدام اشعة اكس ان الحمض النووي DNA المستخلص من مصادر مختلفة متماثل الى حد كبير . ومن خلال نتائجه ونتائج العالم تشار جاف اقترح ان جزيء الحمض النووي DAN يتكون من اثنين او اكثر من السلاسل البولي نيوكليتيدية منظمة على شكل حلزوني وان السلاسل البولي ينيوكليتيدية الطويلة تمسك معاً خلال روابط هيدروجينية بين القواعد الازوتية .

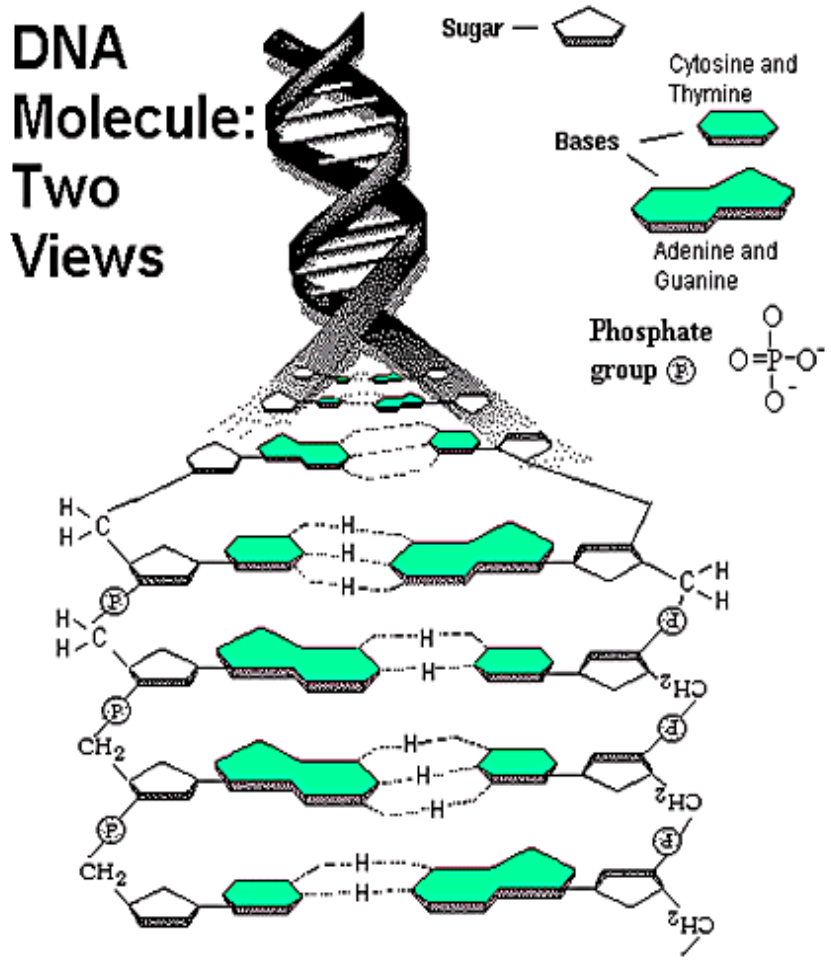
وفي عام 1953م وضع العالمان واتسون وكريك Watson & Crick تصميماً لجزيء الحمض النووي DAN شكل (12) وفي اقترح العالمان واتسون وكريك انه يتكون من سلسلتين بولي نيوكليتيديتين ملتفتين حلزونياً (باتجاه اليد اليمنى) وتتكون السلاسل من ديؤكسي – رايبوتيد فوسفات تتصل ببعضهما بواسطة ثنائي استر الفوسفات مع وجود القواعد الازوتية بشكل عامودي على المحور الوسطي لذا نحصل على تركيب خاص للسلسلتين ملتفتين حلزونياً حول محور عام وهذا الحلزون ممسوك معاً بروابط هيدروجينية بين الادينين والثايمين وبين السايتوزين والجوانين وتتخذ السلسلتان وضعاً متعاكساً بالنسبة لبعضهما ، شكل (13).



ونتيجة الدراسات العديدة على أحماض النيوكليك بالأنسجة المختلفة وفي الكائنات الحية المتنوعة اتضح أن كمية DNA الموجودة في نويات الأنسجة المختلفة بأي كائن حي تكون ثابتة ولكنها تختلف من كائن لآخر ، ولم يلاحظ استثناء في هذه القاعدة إلا فيا لخلايا الجنسية التي تكون فردية الكروموسومات وفي هذه الحالة نجد أن كمية DNA الموجودة بها تكون نصف الكمية الموجودة بالخلايا الجسمية ، وفي الخلايا المتعددة الكروموسومات نجد أن كمية DNA تزداد تبعاً لتضاعف العدد الكروموسومي.

وعن طريق التحلل المائي وإستخدام طرق الكروموتوغرافيا المختلفة أمكن فصل القواعد النيتروجينية وتقدير كمية كل منهما ، كما استخدمت طرق أخرى، مثل تحليل منحنى الإنصهار وكثافة الطفو في تقدير كمية الجوانين والسيتوزين معاً ومن هذه الدراسات أمكن تقدير كمية كل من القواعد النيتروجينية في عدد كبير من أحماض الديؤكسي ريبو نيو كليك الموجودة بالكائنات الحية المختلفة.

شكل(**13**): يوضح تشكيل جزئ الـ **DNA**



تتابع النيوكليتيدات:

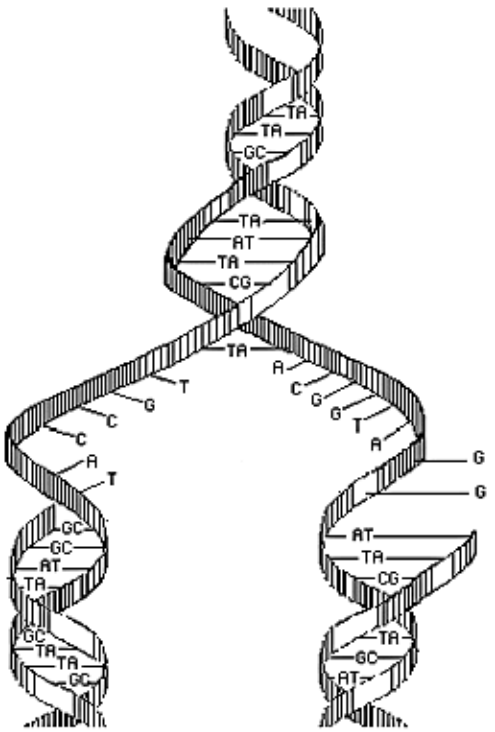
تعتبر طرق تقدير أنواع النيوكليتيدات وكمية كل منها في حمض DNA أسهل بكثير من طرق معرفة تتابع النيوكليتيدات أي ترتيبها في جزئ DNA ويحاول كثير من الباحثين التوصل إلى معرفة تتابع النيوكلتيدات في أحماض النيوكليك المختلفة لما لذلك من أهمية فائقة في فهم الكثير من طرق تنظيم العمليات الحيوية وما يؤدي ذلك إلى إمكان التحكم فيها أو تغييرها. وقد أستخدم في ذلك محموعة من طرق التحلل المائي الحمضي والقاعدي وكذلك التحليل المائي باستخدام أنزيمات مختلفة التخصص ، ومن أهم الطرق المستخدمة في الوقت الحاضر طرق تعتمد على تحليل الجار الملاصق وطرق تعتمد على التهجين مما يوضح البناء الأولي للجزئ.

(طرق تحليل الجار الملاصق) :

وهي تستفيد بما هو معروف عن انزيمات البلمرة الخاصة بالنيوكلتيدات وعن طرق الفصل والتحلل المائي لأحماض الديؤكسي ريبو نيوكليك وعن استخدام النظائر المشعة وقياسها.

(طرق التهجين) :

وتستفيد هذه الطرق بما هو معروف عن (دنترة) أحماض الديؤكسي ريبو نيوكليك بالحرارة ، أي فصل الشريط المزدوج لجزئ DNA الى شرائط مفردة ورجوعها الى طبيعتها بالتبريد البطيء. كما تستفيد بما هو معروف من تقابل القواعد النيتروجينية في أزواج محددة حيث يتقابل الأدينين مع الثايمين ، والجوانين مع السيتوزين ، شكل (14).



الواجب اليومي :

- ما هي اهم وظائف الحامض النووي الرنا ؟

- ماهي مكونات الحامض النووي الرنا ؟

الواجب الأسبوعي :

- اكتب تقرير عن أنواع الحامض النووي الرنا ؟

الموت الخلوي المبرمج PROGRAMMED CELL DEATH (APOPTOSIS)

تعريف الموت الخلوي المبرمج Deffinition of Apoptosis

تبنى الباحثون الكلمة الأغريقية Apoptosis لتميز الموت الخلوي المبرمج من أنواع الموت الخلوي الأخرى، وهذا يؤكد أن موت المادة الحية جزء تكاملي وضروري لدورة حياة الكائنات الحية. وهذا النمط من الموت الخلوي عملية نشطة ومحدودة وتلعب دورا مهما في تكوين الكائنات الحية متعددة الخلايا، وفي التنظيم والحفاظ على عشائر الخلايا في الأنسجة تحت الظروف الفسيولوجية والمرضية. ولابد من التركيز على أن الموت الخلوي المبرمج هو عملية محددة المعالم، وتتضمن سلسلة من الخطوات المنظمة التي تؤدي في النهاية إلى تدمير ذاتي Self-Destruction موضعي ومؤقت، ومن الممكن أن يكون أكثر أنواع الموت الخلوي حدوثاً وتميزاً في الخصائص. ولقد صيغ التعبير Apoptosis لوصف العمليات الشكلية التي تؤدي إلى التحطيم الخلوي الذاتي المنظم، لكن الأنواع الأخرى من موت الخلية قد يكون لها أيضاً أهمية حيوية.

في عام ١٩٧٢م لاحظ الأسترالي Kerr المختص بعلم الأمراض ورفيقاه الأسكتلنديان Currie و Wyllie ظاهرة غريبة تتعلق بالموت الخلوي في أنسجة الكائنات الحية، وخصوصا الثدييات. فقد لاحظ هؤلاء الباحثون أن هناك عملية استبعاد .

وشطب الخلايا معينة مثل الخلايا المسنة أو المصابة أو المتساقطة خلال التكوين الطبيعي للحيوان أو تلك التي بها طفرات دون خلايا أخرى في نفس النسيج، وذلك بطريقة منظمة، وبدرجة عالية من الدقة. ولقد أثارت هذه الظاهرة تساؤل العديد من العلماء المهتمين بمجال بيولوجيا الخلية من حيث ماهية الأسباب التي أدت إلى حدوث ذلك الموت المفاجئ للخلية، ثم بدأت ملاحظات العلماء بأن ذلك الموت الخلوي المبرمج قد يحدث بسبب العديد من العوامل؛ فقد يحدث نتيجة افتقاد الخلية إلى أحد العناصر المهمة واللازمة لاستمرار حياتها، أو نتيجة لتلف الدنا، أو المعاملة بعقاقير ذات سمية خلوية، أو بالتعرض للأشعة، أو فقد إشارات البقاء أو الجهد التأكسدي... إلخ. كل هذه العوامل قد تؤدي إلى موت الخلايا المبرمج الذي يحدث نتيجة لاستجابة الخلايا لإشارات داخلية وخارجية. ومما هو جدير بالذكر في هذا السياق أن تكاثر الخلايا وحدوث الموت الخلوي المبرمج هما عمليتان أساسيتان وضروريتان لصيانة الأنسجة وثباتها في جسم الإنسان وغيره من الحيوانات، وكلتا العمليتين تتضمنان سلسلة من الأحداث الجزيئية المعقدة.

أهمية الموت الخلوي المبرمج Importance of Apoptosis

تعد عملية الموت الخلوي المبرمج مهمة للاتزان النسيجي Tissue Homeostasis وبقاء الجسم صحيحاً وسليما. فهي عملية منظمة ومنظمة في الوقت نفسه Regulated and Regulator كما تعتبر هذه العملية من أهم عمليات التنظيم الفسيولوجي ونمو وحيوية الأنسجة والأعضاء، فخلال التكوين الجنيني يتم إنتاج العديد من الخلايا الزائدة التي تخضع في النهاية للموت الخلوي المبرمج، وبذلك تساهم في تشكيل العديد من الأنسجة والأعضاء. ولقد لوحظ الموت الخلوي المبرمج من خلال العديد من الوظائف الحيوية الطبيعية وخصوصا في أثناء فترة التشكل، مثل تخلص الجنين من الوترات (الأغشية Webs بين الأصابع، وإزالة الذيل في طور أبي ذنيبة وعملية التحول Metamorphosis في الحشرات وسقوط طبقة الرحم الداخلية في الإناث خلال الدورة الشهرية. وعموماً، فإن عملية الموت الخلوي المبرمج لها أهمية حيوية واسعة الانتشار فهي تلعب دورًا مهما في عمليات التكوين والتمايز والتكاثر والتنظيم البدني الداخلي، ووظيفة الجهاز المناعي وإزالة الخلايا المصابة. ولذلك فإن الخلل في وظيفة أو تنظيم الموت الخلوي المبرمج يسبب حالات مرضية متنوعة، كما أن عيوب عملية الموت الخلوي المبرمج التي تسببها اختلالات في العوامل الجزيئية المحفزة لهذه العملية مسببة منع حدوثها تؤدي إلى ظهور بعض الأمراض الناتجة عن تراكم الخلايا الشاذة، ومنها السرطان والالتهابات الفيروسية وأمراض المناعة الذاتية Autoimmune Diseases مثل التهاب المفاصل الرثياني. أما عند حدوث الموت الخلوي المبرمج فوق الحد الطبيعي فإن ذلك يؤدي إلى زيادة أمراض التحلل العصبي وداء الزهايمر Alzheimer وداء باركنسون Parkinson وداء هنتنجتون .Huntington

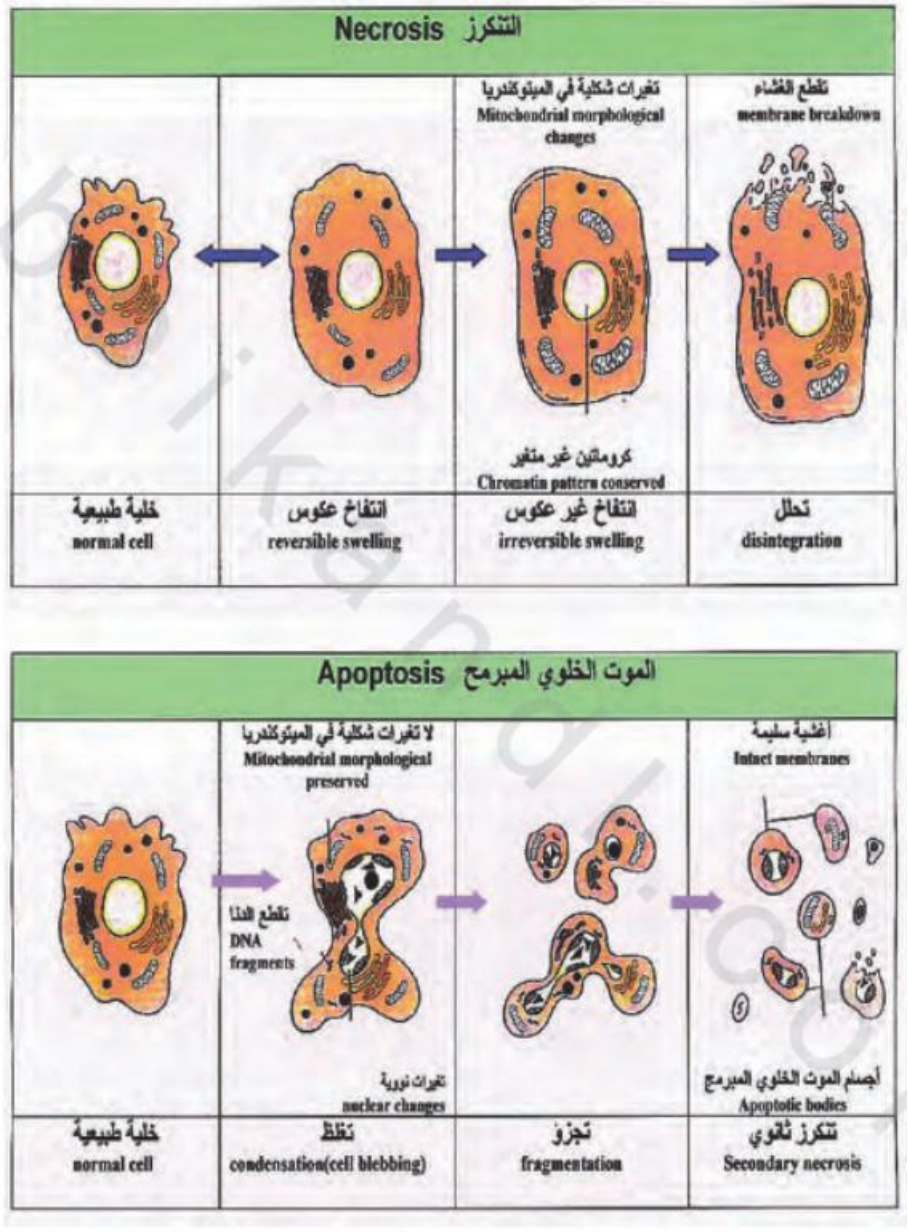
لا تدخل الخلية مباشرة في الموت الخلوي المبرمج، بل إن هناك تقديرًا أوليا لنسبة الضرر بوساطة حساسات التلف Damage Sensors داخل الخلية، والتي تتمثل في عدة جينات أشهرها جين P53 الذي يكون تأثيره معتمداً على موقع الضرر ونوعه واتساع دائرته. فإذا كان الضرر الخلوي كبيراً فإن الخلية تموت بالنخر الخلوي (التنكرز)؛ أما إذا كان الضرر دون مستوى موت الخلية بالتنكرز واستطاعت بروتينات الخلية أن تحميها وتقاوم الأذى حتى يزول؛ فالخلية تعود إلى طبيعتها. أما إذا كان مستوى الأذى متوسطاً ولم تستطع بروتينات الخلية حمايتها فإن آلية الموت الخلوي المبرمج تنشط حينذاك. تصنع معظم الخلايا مجموعات بروتينية كأسلحة للتدمير الذاتي، فإذا كانت الخلية مفيدة للجسم فإنها تقيد تلك الأسلحة، أما إذا أصيبت الخلية بأذى وأصبحت تشكل خطراً على جسم الكائن الحي فإن تلك البروتينات المميتة تتحرر وتبدأ عملها.

التمييز بين الموت الخلوي المبرمج والموت الخلوي بالتنخر Differentiation Between Apoptosis and Necrosis

يحدث الموت الخلوي بالتنكرز عندما تصاب الخلية بصورة بالغة، أو عندما يتوقف الدم عنها، ومن ثم حرمانها من الأكسجين على سبيل المثال. ويعتبر انتفاخ الخلية وعضياتها سمة واضحة لموت الخلية بطريقة التنكرز، فالعضيات الداخلية - وأشدها وضوحاً الميتوكوندريا - والخلية بكاملها تنتفخ وتتمزق وتحدث هذه التأثيرات؛ لأن الإصابة تمنع الخلية من ضبط التوازن الخاص بسائلها وأيوناتها، أي الماء والجزيئات المشحونة (لاسيما أيونات الصوديوم والكالسيوم التي تضخ عادة خارج الخلية، لكنها في حالة الإصابة تتدفق إلى داخل الخلية، مما يؤدي إلى انفجار الخلية مطلقة محتوياتها إلى الفراغات بين الخلوية المجاورة، مما يعرض الخلايا المجاورة للأذى أو الموت، إذ إن الأجسام المحللة Lysosomes قد تسبب قتل الخلايا المجاورة، وقد تكون النتائج جسيمة. ويمثل الالتهاب سمة مميزة أخرى؛ فالبلعميات الكبيرة الجوالة والخلايا الدموية البيضاء الأخرى للجهاز المناعي تتجمع حول الخلايا المتنخرة (النخر الخلوي) وتلتهمها. ويساعد هذا الالتهام على الحد من الإصابة Infection وعلى إزالة الحطام، إلا أن فاعلية الخلايا الدموية البيضاء وإفرازاتها ربما تؤذي أيضاً النسيج السليم المجاور، وفي بعض الأحيان يكون ذلك الأذى كبيرًا. أما عند مراقبة الخلية التي تعاني الموت الخلوي المبرمج فيلاحظ أنها تمر بعدة خطوات، وكان أول من قام بتوضيحتلك الخطوات الباحث ولي Wyllie عام ١٩٨٠ م من خلال ما شاهده في خلايا الغدة الدرقية التي عوملت بهرمونات Glucocoticoids فلم يشاهد أي انتفاخ، ولكن الخلية الميتة بهذه الطريقة انكمشت نتيجة لخروج الماء منها، وانسحبت بعيدا عن جاراتها، وسرعان ما بدت وكأنها تغلي لتشكل فقاعات أو حويصلات Blebs على السطح (الشكل رقم (٤٢) ، ولقد قسمت مراحل تدمير الخلية التي تعاني الموت الخلوي المبرمج إلى ثلاث مراحل، هي:

١- مرحلة التحرر من النسيج :Release Stageتنفصل الخلية خلال هذه المرحلة من الحشوة خارج الخلوية وتصبح مستديرة وتبتعد عن الخلايا المجاورة.

مرحلة التحوصل وظهور الفقاعات Blebbing Stage تنكمش خلال هذه المرحلة خيوط الأكتين والميوسين Actin Myosin وتقترن بمحاورها مع الهيكل السيتوبلازمي وغشاء الخلية لتتكون الحويصلات والفقاعات.



الشكل رقم (٤٢). التغيرات الشكلية التي تحدث للخلية أثناء عمليتي التنكرز والموت الخلوي المبرمج.

الواجب اليومي:

- عرف الموت المبرمج .
- ماهي أهمية الموت المبرمج ؟

الواجب الأسبوعي :

- قارن بين الموت المبرمج للخلية و الموت بسبب التنخر ؟

3- مرحلة التكثف :Condensation Stage تتكثف الخلايا خلال هذه المرحلة وتتجزأ إلى تراكيب محاطة بأغشية محكمة تسمى أجسام الموت الخلوي المبرمج Apoptotic Bodies التي تحتوي على السيتوسول والكروماتين المتكثف أو المتغلظ والعضيات، أما النواة التي تبدلت قليلاً في أثناء عملية الموت الخلوي بالتنكرز فتخضع لتغيرات درامية ثابتة أثناء عملية الموت الخلوي المبرمج، أبرزها تكثف كروماتين النواة مشكلاً كتلة واحدة أو أكثر بالقرب من غلاف النواة، وكذلك انكماش الخلية والسيتوبلازم تحت تأثير قوة قابضة Contractile Force ناشئة عن ألياف الهيكل الخلوي، كما يتبع ذلك تحطيم البروتينات التركيبية للنواة كانشقاق الصفيحة النووية (اللامينا) Lamina وخيوط الأكتين، كما أن هناك تغيرات شكلية أخرى تتمثل في فقدان الزغبات الدقيقة Microvilli والارتباط بين الخلايا. وهناك أيضاً بعض التغيرات الكيموحيوية مثل نقل الدهن الفوسفاتي الفوسفوتيديل سيرين Phosphotidylserine إلى الطبقة الخارجية لغشاء الخلية وزيادة أيونات الكالسيوم Ca داخل الخلية وتجزؤ الدنا DNA يتم التهام أجسام الموت الخلوي المبرمج بوساطة الخلايا الملتهمة الكبيرة Macrophages وبذلك يتم إزالتها من النسيج دون أن تستثير أي استجابة التهابية، ويمكن المقارنة بين خصائص الموت الخلوي المبرمج والموت الخلوي بالتنخر من خلال الجدول رقم ٩).

الجدول رقم (٩). الخصائص المميزة لحالتي التنكرز والموت الخلوي المبرمج.

الخصائص	الموت الخلوي المبرمج	الموت الخلوي بالتنكرز
الخصائص الشكلية Morphological Features	– تحوصل الغشاء الخلوي وعدم فقدان ماهيته. – تجمع الكروماتين حول الغلاف النووي. – انكماش السيتوبلازم وتغلظ النواة. – تجزؤ الخلايا إلى أجسام صغيرة. – تكون حويصلات الموت (Apoptotic Bodies). – الميتوكوندريا تنتفخ بسبب تكون ثقوب	– الغشاء الخلوي يفقد وظيفته. – انتفاخ السيتوبلازم والميتوكوندريا. – تحلل كلي للخلية. – عدم تكون حويصلات. – انتفاخ العضيات وتحللها.

الخصائص	الموت الخلوي المبرمج	الموت الخلوي بالتنكرز
الخصائص الكيموحيوية Biochemical features	– عملية منظمة تتضمن خطوات تنشيط وخطوات إنزيمية. – يحتاج إلى طاقة (عملية نشطة) – تجزؤ منظم للدنا (سلم الدنا) ويحدث بعد التحلل. – تحرر Cytochrom-C من الميتوكوندريا إلى السيتوبلازم.	– تنشط سلسلة إنزيمات الكاسبيس Caspases Cascades. – عملية تفتقد تنظيم الاتزان الداخلي للأيونات. – لا يحتاج إلى طاقة – تجزؤ عشوائي للدنا ويحدث قبل التحلل.
الأهمية الفسيولوجية Physiological significance	– يؤثر على خلايا فردية. – يستحث بوساطة محفزات فسيولوجية (فقدان عوامل النمو – تغير في البيئة الهرمونية وغيرها). – الالتهام بوساطة الخلايا المجاورة أو الملتهمة. – لا تحدث استجابة مناعية.	– يؤثر على مجاميع خلوية. – يستحث بوساطة اضطرابات غير فسيولوجية (السموم – الفيروسات المحللة – نقص الأكسجين). – الالتهام بوساطة الخلايا الملتهمة. – تحدث استجابة مناعية.

الآليات الجزيئية لمسارات إشارة الموت الخلوي المبرمج

Molecular Mechanisms of Apoptosis Signalling Pathways

منذ ملاحظة ظاهرة الموت الخلوي المبرمج على أيدي المختصين بدراسة علم الأمراض وحتى الآن انهمك العديد من الباحثين في معرفة كيف ومتى تقتل الخلايا نفسها. وما زالت هناك أسئلة كثيرة دون إجابة، إلا أن بعض المبادئ الأساسية قد تم التوصل إليها؛ فقد بينت بعض الدراسات أن ثمة جينات خاصة تستحث عند استعداد الخلية للموت بهذا الشكل وقد أطلق على هذه الجينات اسم الجينات المميتة، أو جينات موت الخلية نظرًا لطبيعة عملها التي تحفز نتيجة إشارات موت متنوعة، ومنها:

1- إشارات موت متنوعة تنشط مسارات إشارة مشتركة

Various Death Signals Activate Common Signalling Pathways

يتم تنظيم الموت الخلوي المبرمج بطريقة دقيقة للغاية، وبتفاعل العديد من العوامل المتنوعة من خارج الخلايا أو داخلها، أو كليهما معا، ومنها عوامل ربط وكبحالمستقبلات السطحية للخلية، أو تلف الدنا أو عيوب في آليات إصلاحه أو المعاملة بعقاقير ذات سمية خلوية، أو التعرض للأشعة، أو فقد إشارات البقاء، أو بإشارات متناقضة لدورة الخلية، أو بإشارات موت تكوينية ... إلخ. وبالرغم من التنوع الكبير في إشارات الموت، إلا أنها جميعاً تؤدي في النهاية إلى تنشيط جهاز موت خلوي مشترك يتسم بالخصائص المميزة للموت الخلوي المبرمج.

٢ - إنزيمات الكاسبيسس Caspases Enzymes

يعتمد موت الخلايا المبرمج على بعض الإنزيمات الهاضمة للبروتينات (Caspases) Cysteine - Dependent Aspartateوالتي تسمى بالكاسبيس Proteases

.Specific Proteasesوهذه الإنزيمات مسئولة عن التفكيك الخلوي المبرمج؛ حيث تلعب دورا مركزيا مهما في شبكة إشارة الموت الخلوي المبرمج. إن نشاط هذه الإنزيمات المحفز يعتمد على موقع الـ Cysteine داخل موقع التنشيط (. (Active Siteوهذه الإنزيمات تقطع وبتخصصية موادها الخاضعة (ركائزها) Substrates بعد الحمض الأميني .Aspartate

حتى الآن تم التعرف على ٩ أنواع مختلفة من الكاسبيسس في ذبابة الدروسوفيلا Drosophila و 15 نوعاً مختلفاً في الثدييات. ولقد أكدت مجموعة من الدراسات على بعض الخلايا أهمية الكاسبيسس كوسائط في الموت الخلوي المبرمج. وحاليا توضع الكاسبيسس في مجموعتين هما: المجموعة المبدئة Initiator Caspases والمجموعة المنفذة

.Executioner Caspases

عندما يتم تنشيط إنزيمات الكاسبيسس عن طريق المحفزات المختلفة من داخل أو خارج الخلية فإنها تعمل على تنشيط الإنزيم الهاضم للدنا والمسمى(Caspase-Activated DNase (CAD

وتتم هذه العملية كالتالي :

أ) يكون الإنزيم Inhibitor of CAD (ICAD) الكابح للإنزيم CAD مرتبطا بهذا الإنزيم ((CADمكونا تركيبا بروتينيا يمنع دخول الأخير إلى النواة وتحليل الدنا.

ب) عندما يتم تنشيط إنزيم الكاسبيس عن طريق محفزات الموت الخلوي المبرمج يعمل هذا الإنزيم على تحطيم التركيب البروتيني، وتفكيك الارتباط الإنزيمي بين ICAD و CAD ، لينطلق إنزيم CAD حرا في السيتوبلازم.

ج) بعد ذلك يدخل إنزيم CAD إلى النواة، ويبدأ بتجزئة الدنا إلى قطع صغيرة بحجم الأجسام النووية) Nucleosomesالشكل رقم ٤٣ أو ب).

3- مسارات الموت الخلوي المبرمج Apoptosis Pathways

(أ) مسارات داخلية Intrinsic Pathways

يتم تنشيط كاسبيس - ٩ من خلال أحداث موت أولية Proapoptotic ميتوكوندرية وعندها يسمى جسم الموت الخلوي المبرمج Apopotosome ، وهو عبارة عن معقد إشارة موت بروتيني سيتوسولي يتم تكوينه بعد تحرر Cytochrome-C من الميتوكوندريا إلى السيتوبلازم، ويتألف هذا المعقد من ATP Apaf-1 Procaspases-9، Cytochrome-C والذي يقوم بدوره بتنشيط الكاسبيسس المبدئة، والتي بدورها تنشط الكاسبيس المنفذة - عن طريق التحلل البروتيني لكل من Procaspase 3 والتي تقوم بتجزئة مجموعة من الركائز البروتينية الخاصة بما فيها الكاسبيس الأولية نفسها، لتعمل على تسهيل وتضخيم إشارة الموت. ويحدث موت الخلية بمظاهره الشكلية والكيموحيوية التي تشاهد عادة عند حدوث الموت الخلوي المبرمج (الشكل رقم ٤٣ أو ب).

ب مسارات خارجية Extrinsic Pathways

يتم تسهيل إشارة الموت الخلوي المبرمج الخارجية بوساطة تنشيط ما يسمى مستقبلات الموت Death Receptors، وهي مستقبلات خلوية سطحية تقوم بنقل إشارات الموت بعد ارتباطها بربيطات خاصة Ligands، ومن هذه المستقبلات TNFR-1 و CD95 و .Fasويتم تسهيل إشارة الموت بالجزء السيتوبلازمي لمستقبل الموت الذي يحتوي على تتابع يسمى حقل الموت Death Domain (DD) ، كما أن جزيئات الوصيلات ((Adaptorمثل FADD أو TRADD لها أيضاً الـ DDs الخاص بها والتي عن طريقها يتم تطويعها للـ DDs لتكوين ما يسمى معقد إشارة حث الموت Death Inducing Signaling Complex (DISC).إن التركيز الموضعي لجزيئات الـ Procaspase-3 العديدة عند ((DISCيؤدي إلى تحفيزها الذاتي، وتحرير Caspase-8 النشط الذي يؤدي بعد معالجته إلى تجزئة ركائز خاصة لينتج عن

ذلك موت الخلية. إن الخلايا التي لها القدرة على حث الموت الخلوي المبرمج بطريقة مباشرة ومعتمدة على الـ Caspase وبصورة رئيسة تسمى النوع - ١ ، بينما إذا كانت الإشارة الآتية من المستقبل المنشط لا تُنتج سلسلة إشارات الـ Caspase وبقوة كافية لتنفيذ موت الخلية بنفسها فإن الإشارات تحتاج إلى تضخيم عن طريق مسارات الموت الخلوي المعتمدة على الميتوكوندريا، وتسمى في هذه الحالة النوع - ٢ .

الارتباط بين سلسلة إشارة Caspase والميتوكوندريا يتم تزويده بعضو العائلة

Bol المسمى Bid ، والذي يتم قطعة بالكاسبيس Caspase-8؛ حيث ينتقل بشكله المبتور ((BIDإلى الميتوكوندريا، ويعمل بانسجام مع Bax و Bak التابعة للعائلة نفسها لحث تحرير Cytochrom C، وعوامل ميتوكوندرية أخرى مرتبطة بموت الخلية إلى السيتوسول ليتكون في هذه الحالة المعقد Apoptosome الذي يحث تنشيط سلسلة من الأحداث تؤدي إلى تنشيط Caspase 37 وفي النهاية تؤدي إلى موت الخلية (الشكل رقم ٤٣ أو ب).

الواجب اليومي :

- ماهي مرحلة التكثف ؟

- ماهي الخصائص الكيموحيوية و الأهمية الفسيولوجية للموت المبرمج و الموت بالتنخر ؟

الواجب الأسبوعي :

- اكتب مقال علمي حول الآليات الجزيئية لمسارات إشارة الموت الخلوي المبرمج .

٤ - الميتوكوندريا كمنظمات مركزية لمسارات الموت الخلوي المبرمج الداخلية

Mitochondria Controls Intracellular Apoptosis Pathways

بالإضافة إلى تضخيم وتسهيل مسارات الموت الخلوي المبرمج الخارجية فإن الميتوكوندريا تلعب أيضًا، دورا مركزيا في تقوية وتكامل وانتشار إشارات الموت الناشئة داخل الخلية، كتلف الدنا والضغط التأكسدي والتجويع والإشارات المستحثة بالعقاقير المستخدمة في العلاج الكيميائي للسرطان وغيرها. إن معظم ظروف تحفيز الموت الخلوي يتضمن تغيرات مفاجئة في نفاذية أغشية الميتوكوندريا وتعطيل قدرة النقل الغشائي الداخلي أو ما يسمى تحويل النفاذية Permeability Transition (PT) ؛

نتيجة لتغيرات في شحنات الغشاء وفتح قنوات الأيونات المعروفة بثغور تحويل النفاذية الميتوكوندرية Mitochondrial PT Pores، وفتح تلك القنوات يجعل الماء والمواد المذابة التي لها كتلة جزيئية تقل عن ١,٥ كيلو دالتون (ك) (د) تقريبا ، تدخل إلى الحشوة بين الغشاءين الداخلي والخارجي، مما يؤدي إلى تمزيق الغشاء الخارجي، وتحرر بروتينات الموت الخلوي الميتوكوندرية إلى السيتوبلازم ومن ثم تنشيط جسم الموت الخلوي المبرمج وسلسلة الكاسبيسس وعوامل أخرى مثل () (AIFالشكل رقم ٤٣ أو ب).

ه - الآليات المنظمة في إشارات الموت الخلوي المبرمج Mechanisms of Apoptosis Pathways

يحدث تنشيط الموت الخلوي المبرمج عندما تواجه الخلية إشارة خاصة منشطة للموت كارتباط مستقبل الموت بربيطته الخاصة، أو إذا عوملت الخلايا بعقار ذي سمية خلوية. ولذلك، يفترض أن تبقى مسارات الموت الخلوي المبرمج في الخلايا الحية في حالة غير نشطة، وتنشط فقط كاستجابة لمحفز موت معين. لكن لابد من ملاحظة أن مكونات شبكة إشارات الموت الخلوي المبرمج يتم تحديدها وراثيا، وهي جاهزة للتأثير في معظم أنواع الخلايا. وقد برمجت داخليا للتحطيم الذاتي، وبطريقة تلقائية إلا إذا تم كبح موتها باستمرار إشارات البقاء التي تعزز تعبير ونشاط جزيئات منظمة مضادة للموت الخلوي المبرمج. ومن الجزيئات المنظمة ما يلي:

أ) الجين P53

يوصف الجين P53 بأنه حارس الجينوم .Guardian of the Genomeفهو ينظم تكاثر وموت الخلايا، كما أنه يراقب العمليات التي تحدث أثناء انقسام الخلية، ويحمي الدنا من كثير من الأضرار. فإذا حصل تلف أو خلل في الدنا أثناء الانقسام فإن هذا الجين يأمر الكثير من الجينات المشاركة في الانقسام بإيقاف دورة الخلية عند G/S في مرحلة G أو G أو GM حتى يتم إصلاح الخطأ، ثم يأمرها بالاستمرار بعد

زوال الضرر. ولكن في بعض الحالات يكون التلف كبيراً وغير قابل للإصلاح، وعندها يقوم الجين P53 بتنشيط جينات أخرى لتدمير الخلية، ويُدمر هو أيضًا، ولذا يسمى بالجين الانتحاري.

يقوم ناتج الجين P53 بتحفيز الموت الخلوي المبرمج عن طريق تعزيز نسخ جينات تتضمن مسار الموت الخلوي المبرمج. ولقد لوحظ أنه بإحداث طفرات بهذا الجين يحدث تنشيط للموت الخلوي المبرمج، وعندما يفقد هذا الجين وظيفته تفقد السيطرة على الانقسام الذي يستمر ، وبالتالي تتولد الأورام السرطانية. وقد وجد هذا الجين في حالات طافرة عديدة في أكثر من ٥٠% من حالات السرطان في الإنسان (الشكل رقم ٤٣ أو ب).

ب الجين Bel-2

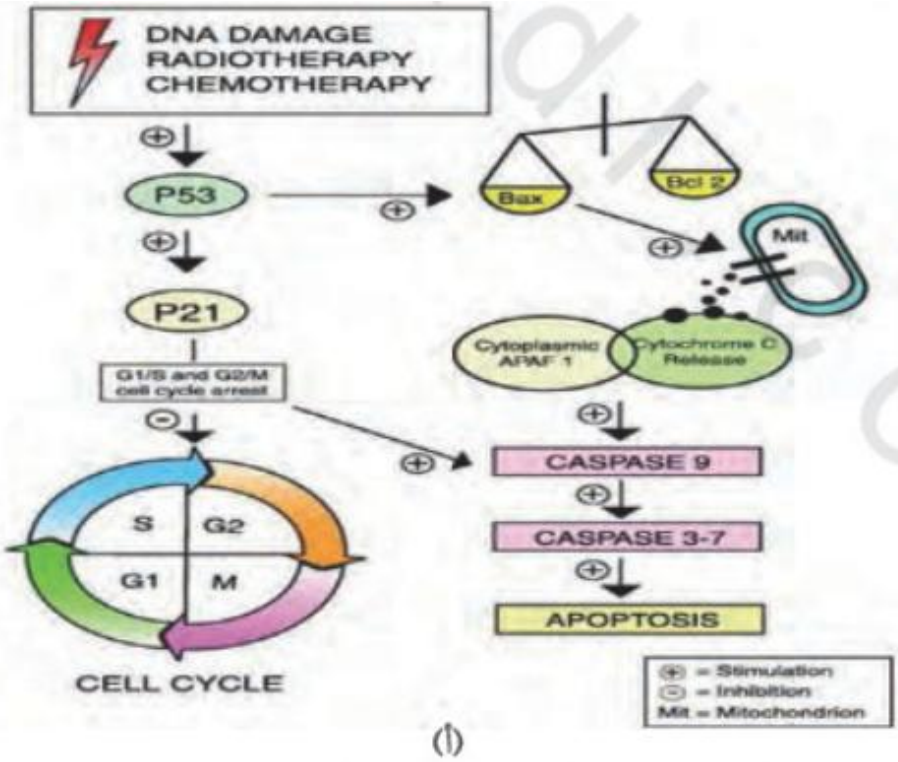
يلعب هذا الجين دورًا مهما في كبح الموت الخلوي المبرمج، فلقد دلت الأبحاث على أن الخلايا التي أنتجت مستويات عالية من تعبير هذا الجين، أو تمت إصابتها به كانت مقاومة للموت الخلوي المبرمج الذي تم حثه، مما أدى إلى تكون أورام سرطانية.

هناك بعض الجدل حول كيفية تنظيم عائلة Bol-2 للموت الخلوي المبرمج. ويفترض أحد الآراء أن أعضاء Bel-2 من الممكن أن تنظم تنشيط الكاسبيس بطريقة مباشرة، بينما يفترض الرأي الآخر أن هذه العائلة تعمل بصورة رئيسة على حماية وسلامة الميتوكوندريا، إلا أن المرجح أن المهمة الأساسية لأفراد عائلة Bol-2 في الثدييات هي حماية وسلامة الميتوكوندريا، وتنظيم تحرر البروتينات الميتوكوندرية إلى السيتوبلازم. كما أن أعضاء Bol-2 المضادة للموت الخلوي المبرمج تكبح نشاط أعضاء Bol-2 السامحة للموت الخلوي Proapoptotic عن طريق ارتباطها بحقولها، وبالتالي تثبيط أحداث الميتوكوندريا التي تسمح بإحداث الموت الخلوي المبرمج الأولية (الشكل رقم ٤٣ أو ب).

٦ - الكشف عن الموت الخلوي المبرمج Apoptosis Detection

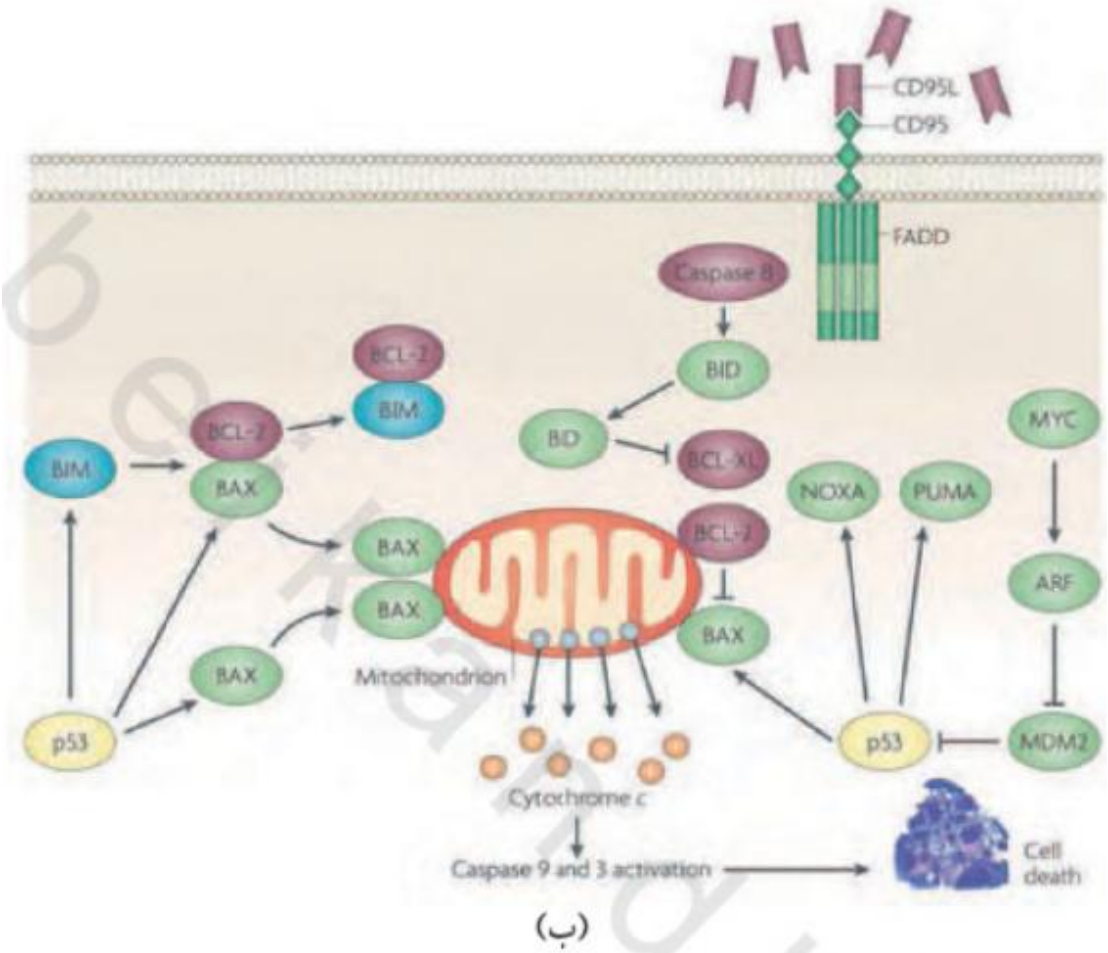
يمكن الكشف عن الموت الخلوي المبرمج بالعديد من الطرق، ومنها الفحص بالمجهر الضوئي؛ للكشف عن التغيرات الشكلية Morphological Changes المصاحبة له؛ حيث تتميز الخلايا أثناء المراحل المختلفة للموت الخلوي المبرمج بتغيرات خلوية ونووية على هيئة تكثيف خلوي ونووي، وظهور نوى غير منتظمة الشكل ومتجزئة وما يعرف بأجسام الموت الخلوي المبرمج Apoptotic Bodies، وهي مبتلعة داخل الخلايا المجاورة. أما المجهر الإلكتروني فإنه يتيح التعرف على طبيعة التراكيب الدقيقة Ultra Structure للخلية وعضياتها وبالتالي التعرف عن قرب على طبيعة التغيرات التي حدثت على الشكل الخارجي للخلايا المتأثرة (مثل ما يحدث في الغشاء البلازمي من افتقاد للزوائد الزغبية الدقيقة والتغيرات التي تطرأ على الميتوكوندريا). كما اتجه الكثير من الباحثين إلى محاولة تصميم العديد من

الاختبارات التي تستهدف الكشف عن الموت الخلوي المبرمج، مثل اختبار التعليم الإنزيمي تنل TUNEL واختبار اللامينا أ ، Poly (ADP-ribose) Polymerase (PARP(واختبار ،enzyme Lamina-A ، واختبار تجزئة الدنا DNA Fragmentation ، والكشف عن مستوى التعبير الجيني Gene Expression والبروتيني لعدد من جينات الموت الخلوي المبرمج الأخرى Quantitative Real Time PCR باستخدام



(أ)

الشكل رقم (٤٣أ).المسارات الداخلية والخارجية للموت الخلوى المبرمج.



(ب)

الشكل رقم (٤٣ب).المسارات الداخلية والخارجية للموت الخلوي المبرمج.

الواجب اليومي :

- كيف تعمل المايتوكوندريا كمنظمات مركزية لمسارات الموت المبرمج ؟

الواجب الأسبوعي :

- اكتب تقرير لا يتجاوز عن أربعة أوراق عن الكشف عن الموت الخلوي المبرمج Apoptosis Detection

الخلايا الجذعية STEM CELLS

مقدمة Introduction

يشكل اكتشاف الخلايا الجذعية ثورة حقيقية في ميدان العلوم الحيوية، جاءت نتيجة أبحاث طويلة امتدت عقوداً من الزمن أراد العلماء من خلالها كشف أسرار التطور الخلوي، بدءًا من الخلية المفردة، وانتهاء بالكائن الحي الكامل، وفهم العوامل الوراثية التي تنظم التمايز الخلوي في التطور المبكر، وبحث إمكانية استبدال الخلايا المصابة بأخرى سليمة. وقد استقبل اكتشاف الخلايا الجذعية باهتمام عالمي بالغ نظراً لوعودها الاستثنائية في المعالجات المعتمدة على الخلايا، وللجدل الأخلاقي والقانوني المثار حولها، فمن المعروف حاليا إمكانية الحصول على الخلايا الجذعية من الأجنة والبالغين ومعالجتها؛ اعتماداً على خصائصها المتميزة لاستخدامها في المعالجات التعويضية وفحص الأدوية والسموم، وغيرها من التطبيقات العلمية والعملية التي طالما شكلت تحديا طبيا حقيقيا. كان الاتجاه في البداية وإلى وقت قريب نحو استنساخ جنين بشري للحصول منه على خلايا جذعية لعلاج بعض الأمراض لدى الإنسان مثل السكر والسرطان والإيدز والسكتة الدماغية وغيرها . أما الآن فتتجه كثير من مراكز الأبحاث البيولوجية لدراسة الخلايا الجذعية العلماء حديثا أن هناك أنواعًا من الخلايا أطلقوا عليها وصف سيدة الخلايا Master Cells؛ حيث لها قابلية التحول إلى أي نوع من خلايا الجسم وفق معاملات بيئية محددة في المختبر. هذه الخلايا هي الخلايا الجذعية Stem Cell ولذا فإن العلماء والأطباء يعلقون عليها الآمال بعد الله سبحانه وتعالى في علاج العديد من الأمراض. وهنا سنعرض بعض خصائص هذه الخلايا واستخداماتها الطبية.

ماهية الخلايا الجذعية Definition of Stem Cells

الخلايا الجذعية الجنينية، أو كما تسمى بالخلايا الأولية، أو خلايا المنشأ، هي خلايا لها القدرة على الانقسام والتكاثر لتعطي أنواعًا مختلفة من الخلايا المتخصصة Specialized Cells، أي من الممكن أن تعطي أي نوع من الخلايا تحت ظروف فسيولوجية أو تجريبية معينة، لتصبح خلايا ذات وظائف تخصصية، كخلايا العضلات وخلايا الكبد والخلايا العصبية والخلايا الجلدية وغيرها. وهذه الميزة هي التي جعلت العلماء والأطباء يهتمون بها ويفكرون في استخدامها لعلاج العديد من الأمراض المزمنة، والتي لا يوجد لها علاج حتى الآن.

أنواع الخلايا الجذعية Types of Stem Cells

إن الخلايا الناتجة عن البويضة المخصبة تكون ما يعرف بالخلايا الجذعية، وهذه الخلايا لها القدرة على تكوين كل أو بعض أنواع الخلايا حسب المرحلة التي وصلت إليها. لذا يمكن تقسيم الخلايا الجذعية إلى ثلاثة أنواع :

١ - الخلايا الجذعية كاملة القدرة Totipotent Stem Cells

لهذا النوع من الخلايا الجذعية القدرة الكاملة على تكوين أي نوع من أنواع الخلايا، وتتكون هذه الخلايا بعد الساعات الأولى من عملية الإخصاب وبداية انقسام البويضة المخصبة، ويمكن لكل خلية من هذه الخلايا إذا زرعت في رحم أنثى أن تنشئ جنينا كاملا مع الأنسجة الداعمة له من المشيمة والأغشية المحيطة به. وهذا بالضبط ما يحدث في التوائم المتماثلة أو المتطابقة .Identical Twins

٢ - الخلايا الجذعية وافرة القدرة Pluripotent Stem Cells

لها القدرة على أن تعطي العديد من أنواع الخلايا، ولكنها لا تستطيع أن تعطي الخلايا اللازمة لنمو الجنين. تتكون هذه الخلايا عند مرحلة البلاستولة Blastula، فخلايا البلاستولة المحيطية تنمو لتعطي خلايا المشيمة والأنسجة الداعمة لها، أما كتا مة لها، أما كتلة ! ، أما كتلة الخلايا الداخلية Inner Mass Cells فتعطي أجهزة الجسم المختلفة.

الخلايا متعددة القدرة Multipotent Stem Cells

هذه هي الخلايا المعروفة والمشهورة التي توجد في أجسامنا، وتسمى أيضا الخلايا الجذعية البالغة. تتطور الخلايا الجذعية متعددة الفاعلية لاحقا لتتخصص إلى خلايا جذعية لها القدرة على تكوين خلايا تتطور لأداء وظيفة محددة. ومن الأمثلة عليها خلايا الدم الجذعية التي تنتج خلايا الدم الحمراء وخلايا الدم البيضاء والصفائح الدموية وكذلك خلايا الجلد الجذعية التي تنتج مختلف أنواع خلايا الجلد. وهذه الخلايا الجذعية الأكثر تخصصا تسمى الخلايا الجذعية متعددة الفاعلية.

بينما تكون الخلايا الجذعية مهمة جدًا في البدايات الأولى لتطور الجسم البشري فالخلايا متعددة الفاعلية قد توجد في الأطفال وفي البالغين أيضًا. ولنأخذ على سبيل المثال أحد أكثر الخلايا التي تم دراستها وفهم طبيعتها، وهي خلايا الدم الجذعية. تستقر خلايا الدم الجذعية في نخاع العظم للأطفال والبالغين، كما أنها في الواقع يمكن أن توجد بكميات قليلة جدًا في الدم، وتتحرك مع الدورة الدموية. الخلايا الدم الجذعية وظيفة في غاية الأهمية، وهي أنها تعوض ما يتلف من خلايا الدم جميعا، وهي خلايا الدم الحمراء

Erythrocytes، وخلايا الدم البيضاء Leukocytes، والصفائح الدموية Blood Platelets، وعلى مدى حياة الإنسان. ولا يمكن للإنسان أن يستمر في حياته من دون خلايا الدم الجذعية.

خصائص الخلايا الجذعية Properties of Stem Cells

تنفرد الخلايا الجذعية عن سائر أنواع الخلايا في الجسم بثلاث خصائص رئيسة هي:

١ - القدرة على الانقسام والتجدد الذاتي لفترات طويلة: خلافاً للخلايا العضلية أو خلايا الدم الحمراء أو الخلايا العصبية التي لا تكرر نفسها بشكل طبيعي يمكن للخلايا الجذعية أن تنتسخ مرات عديدة، وهو ما يعرف بخاصية التكاثر. وتقوم مجموعة الخلايا الجذعية التي تتكاثر لعدة أشهر في المختبر بإنتاج ملايين الخلايا، وإذا ما بقيت هذه الخلايا غير متخصصة كالخلية الأم فإنها تعرف عندئذ بالخلايا ذات التجدد الذاتي طويل الأمد.

2- خلايا غير متخصصة : ليس للخلايا الجذعية أي بنية نسيجية نوعية قادرة على أداء وظائف متخصصة. فلا تستطيع الخلية الجذعية البالغة الموجودة في عضلة القلب مثلا أن تعمل على ضخ الدم، كما لا تستطيع تلك الموجودة في الدم أن تحمل جزيئات الأكسجين كالكريات الحمراء.

3- لها القدرة على توليد أنسجة متخصصة يعرف تحول الخلايا غير المتخصصة إلى متخصصة بالتمايز الذي يجري التحكم به من خلال إشارات داخلية وخارجية تعرف بإشارات التمايز الخلوي، والتي أصبحت أكثر وضوحاً من ذي قبل. وتنقسم هذه الإشارات إلى نوعين:

أ) الإشارات الداخلية : Internal Signalsتتم السيطرة على الإشارات الداخلية بجينات الخلية الممتدة على طول الـ DNA والتي تحمل الشفرات المحددة لتركيب ووظائف الخلية.

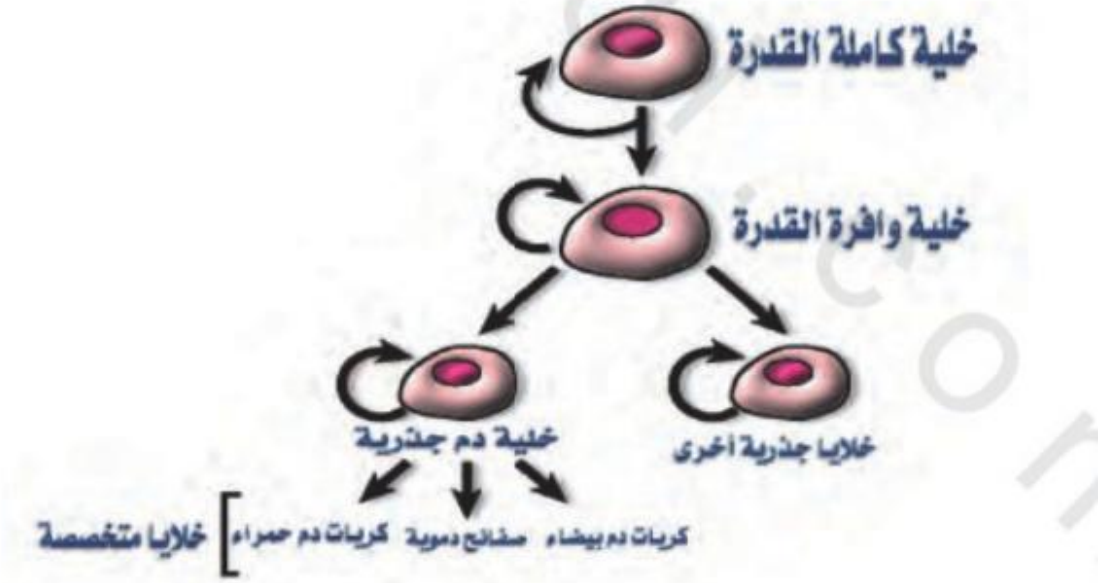
ب الإشارات الخارجية Extemal Signals تتضمن الإشارات الخارجية المواد الكيميائية التي يتم إفرازها من الخلايا الأخرى والتماس الفيزيائي مع الخلايا المجاورة وبعض الجزيئات المحددة في البيئة الدقيقة Microenvironment.

إذا اشتقت الخلايا الجذعية الأولية من كتلة الخلية الداخلية للجنين يكون بمقدورها أن تولد العديد من الأنماط الخلوية الموجودة في الجسم من الأنماط الجنينية الثلاث: (الإندوديرم - الميزوديرم - الإكتوديرم). أما بالنسبة للخلايا الجذعية البالغة فقد اعتقد أنها لا تولد إلا خلايا مماثلة لخلايا النسيج الموجودة فيه ولكن تم مؤخراً إثبات أنها تستطيع توليد أنماط مختلفة من الخلايا، ويمكن اعتماداً على هذه الخاصية أن تقوم الخلايا الجذعية المكونة للدم الموجودة في نخاع العظم مثلاً بإنتاج خلايا عصبية أو عضلية. ولكن يبقى السؤال هل هذه الإشارات الداخلية والخارجية متشابهة لكل الخلايا الجذعية.

نشوء الخلايا الجذعية Existing of Stem Cells

يبدأ تكوين الإنسان بتلقيح الحيوان المنوي للبويضة لتتكون البويضة المخصبة، وهذه البويضة عبارة عن خلية واحدة تسمى خلية جذعية كاملة القدرة أو القوة ((Totipotent Stem Cells، وكل الخلايا الجذعية كاملة القدرة يمكن أن تتضاعف وتتميز لتعطي جسم الجنين. وكل الخلايا في المراحل الجنينية المبكرة تعد كاملة القدرة حتى مرحلة الـ ١٦ خلية، وفي الساعات الأولى بعد الإخصاب يبدأ انقسام البويضة المخصبة إلى مجموعة من الخلايا. وهذه الخلايا أيضًا لها القدرة الكاملة؛ حيث تنفصل خليتان من الخلايا كاملة القدرة فتكون جنينين متماثلين تماما من الناحية الوراثية وبعد أربعة أيام من التلقيح وبعد عدة دورات من انقسام الخلايا تبدأ الخلايا كاملة القدرة في إنتاج خلايا متخصصة مكونة كرة مفرغة تسمى الحويصلة الجذعية Blastocyst الشكل رقم ٤٤) . وهذه الحويصلة الجذعية لها طبقة خارجية من الخلايا التي تكون المشيمة والأنسجة الداعمة لنمو الجنين في الرحم. وفي تجويف الكرة هناك كتلة من الخلايا تسمى الكتلة الخلوية الداخلية، يتكون منها جميع أنسجة وأعضاء الجنين. ولكن هذه الخلايا تختلف عن الخلايا الأولى التي ذكرنا أنها لا تستطيع تكوين كائن حي بمفردها؛ لأنها غير قادرة على تكوين الأنسجة الداعمة للجنين؛ ولذلك تسمى هذه الخلايا بالخلايا الجذعية وافرة القدرة أو متعددة الفاعلية .Pluripotent Stem Cells بعد ذلك تبدأ الخلايا التي في الكتلة الخلوية الداخلية في التكاثر بالانقسام المتكرر، وتبدأ في إنتاج خلايا متخصصة دقيقة مثل خلايا الدم الجذعية التي تكون كل خلايا الدم، وخلايا العضلات الجذعية التي تكون العضلات، والجلد الجذعية التي تعتبر مصدرًا لكل خلايا الجلد. وهذه الخلايا المتخصصة تسمى الخلايا متعددة القدرات الشكل رقم ٤٥).

الشكل رقم (٤٤). تلقيح البويضة والتفلج وتكوين الخلايا الغذائية وكتلة الخلايا الداخلية.



الشكل رقم (٤٥). تحول الخلايا كاملة القدرة إلى الخلايا المتخصصة بعد انقسامات خلايا الكتلة الداخلية.

الواجب اليومي :

- عرف الخلايا الجذعية وما هي أنواعها .

- اكتب مقال علمي عن الخصائص البايولوجية للخلايا الجذعية .

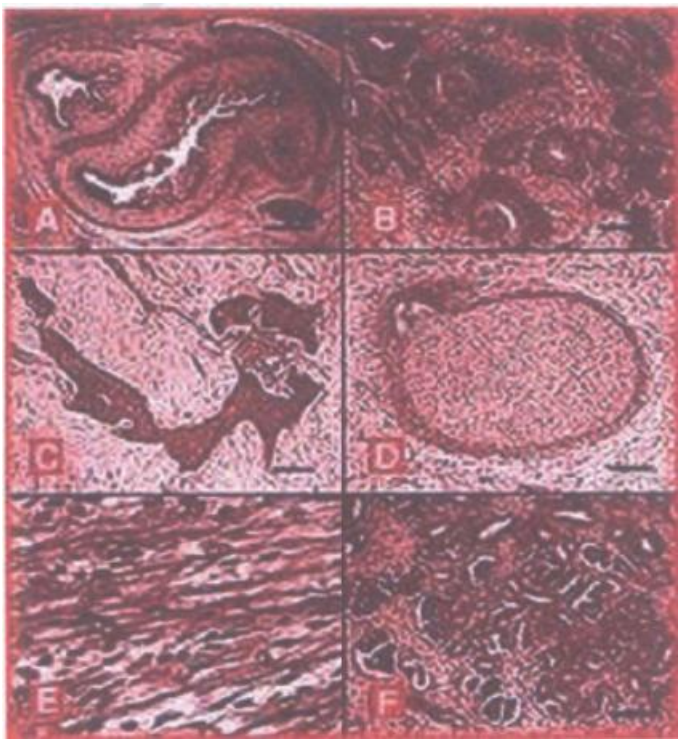
الواجب الأسبوعي :

- اكتب تقرير لا يتجاوز عن أربعة أوراق عن طبيعة نشوء الخلايا الجذعية .

الحصول على الخلايا الجذعية وافرة القدرة Sources of Pluripotent Stem Cells

الطريقة الأولى : طريقة ثومسون Thomson

حيث عزل خلايا متعددة الفاعلية Ploripotent من الكتلة الخلوية الداخلية في مرحلة البلاستولا من الأجنة الفائضة من مراكز التلقيح الاصطناعي، والتي تبرع بها الأزواج . وبعد أن عزلت هذه الخلايا قام بتنميتها في مزارع خلوية منتجا بذلك خطوطا خلوية من الخلايا الجنينية، وقد تحولت بالفعل بعض الخلايا إلى بعض أنواع الأنسجة المختلفة (الشكل رقم (٤٦).



الشكل رقم (٤٦)

يوضح مجموعة من الأنسجة التي نتجت عن تمايز بعض الخلايا الجذعية الجنينية والتي زرعت بوساطة ثومسون وأعطت أنواعا مختلفة من الأنسجة ومنها:

- أمعاء، - خلايا عصبية - خلايا نخاع العظم - غضاريف – عضلات - خلايا كلوية.

الطريقة الثانية: طريقة جيرهارت Gearhart

حيث عزل هذه الخلايا من الأنسجة الجنينية من الأجنة المجهضة (الأنسجة التي يتكون منها المبيض والخصية، وتعرف هذه الخلايا بالخلايا الجرثومية الأولية

Primordial Germ Cell.

6 وذلك بأخذ خلايا من الكتلة الخلوية الداخلية عن طريق الاستنساخ، أو ما يسمى

Therapeutical Cloning Method

الطريقة الثالثة:

طريقة الاستنساخ العلاجي بنقل النواة الجسدية (Somatic Cell Nuclear Transfer (SCNT. وقد تشكل طريقة أخرى لعزل الخلايا الجذعية متعددة الفاعلية باستخدام تقنية ((SCNT، حيث قام الباحثون بأخذ بويضة حيوان طبيعية وإزالة نواتها. والمواد المتبقية في البويضة بعد إزالة النواة تحتوي على المواد الغذائية والمواد المنتجة للطاقة الأساسية للتكوين الجنيني. بعد ذلك وتحت ظروف معملية خاصة أخذت خلية جسدية للنوع نفسه ووضعت بجانب البويضة منزوعة النواة، مما أدى إلى اندماجها مع مرور الوقت. تتميز الخلية الجديدة بأنها ذات قدرة كاملة على تكوين كائن حي كامل. لذا تعتبر خلايا كاملة الفاعلية .Totipotentإن الخلايا سوف تنمو إلى طور البلاستولة، وخلايا كتلة الخلايا الداخلية لهذه البلاستولة يمكن أن تكون مصدرًا للخطوط الخلوية متعددة الفاعلية .Pluripotentوتعرف هذه الطريقة باسم الاستنساخ العلاجي (Therapeutic Cloningالشكل رقم ٤٧). وهذه الطريقة هي نفس تقنية الاستنساخ المعروفة، إلا أن الهدف منها الحصول على خلايا جذعية جنينية للاستخدامات العلاجية. وتمتاز هذه الخلايا الناتجة بأنها تكون متطابقة جينيا مع الفرد الذي أخذت منه النواة، مما حل مشكلة رفض الأنسجة من قبل الجهاز المناعي.

هذه المصادر المختلفة للخلية الجذعية لا تعني بالضرورة أنها في النهاية سوف تعطي النوع نفسه من الخلايا الجذعية التي لها نفس القدرات والإمكانيات لإنتاج أنسجة معينة. ويعتقد على المستوى النظري على الأقل أن قدرة هذه الخلايا على إنتاج أي نوع من الأنسجة تعتمد على مصدرها ؛ فكلما كان مصدر الخلايا من الأجنة زادت هذه القدرة. وللأسف ليس هناك دراسة مقارنة بين قدرات هذه الخلايا في الوقت الحالي.

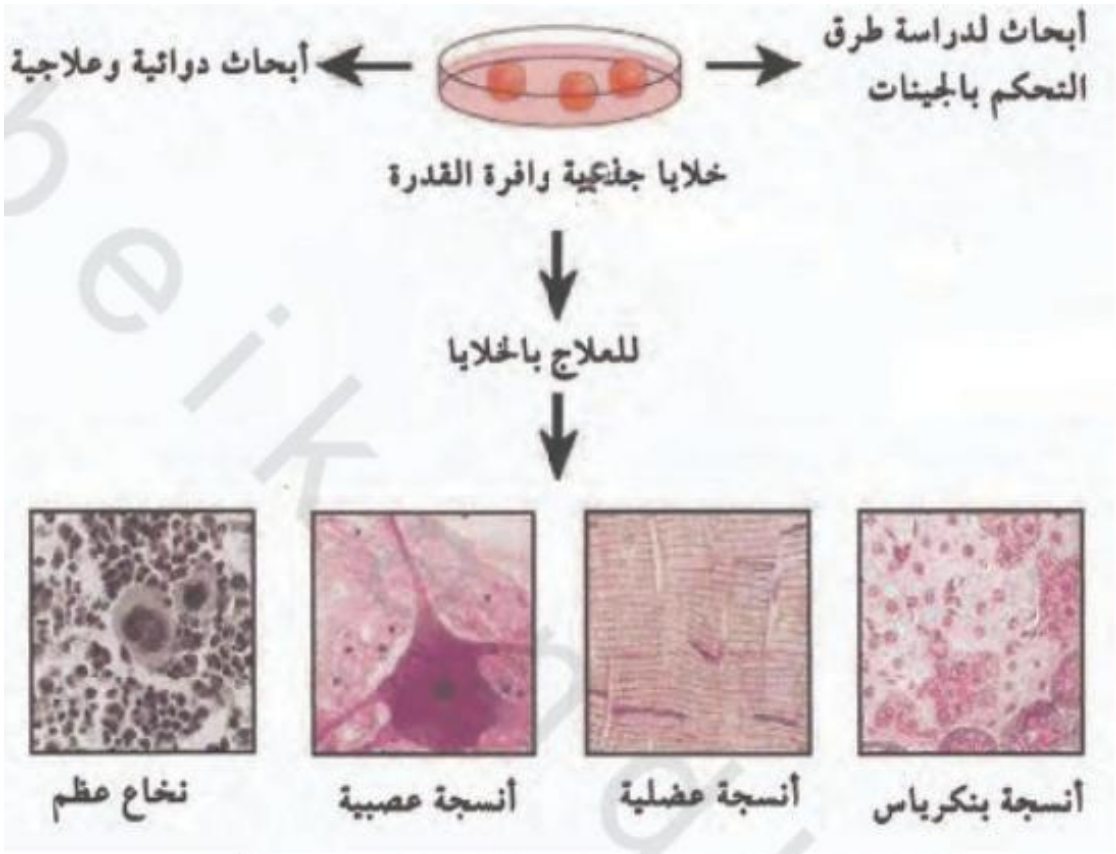
الشكل رقم (٤٧). الحصول على الخلايا الجذعية عن طريق الاستنساخ.

من المصادر الأخرى للخلايا الجذعية البالغة المشيمة. وهذا ما اكتشفته شركة Anthrogenesis حديثا، حيث تعد مصدرا غنيا بالخلايا الجذعية البالغة. ويمكن تنمية هذه الخلايا وتكثيرها بكميات كبيرة. ولأن المشيمة يتم التخلص منها بعد الولادة مباشرة فيعد هذا الأسلوب هو الأمثل كمصدر للخلايا الجذعية.

إن أحد المصادر الأخرى التي حققت نجاحًا في الحصول على الخلايا الجذعية هو نخاع العظام، وخصوصا في تحويلها من نخاع العظام إلى خلايا كبدية عند زراعتها في المعمل. وهناك تجارب أولية تثبت نتائجها أن الخلايا الجذعية في نخاع العظام قادرة على التحول إلى أي نوع من أنواع الخلايا إذا ما توافرت لها الظروف معمليا؛ فقد عزل العلماء بنجاح الخلايا الجذعية من بنكرياس الفئران، وقاموا بتنميتها ثم زراعتها في فئران مصابة بمرض السكر؛ حيث أظهرت هذه الخلايا قدرتها على التحول إلى خلايا منتجة للأنسولين.

استخدامات الخلايا الجذعية وافرة القدرة Pluripotent Stem Cells Using

إن عزل واستعمال هذه الخلايا مهم للعلم والتقدم الصحي، ويعتقد أنه أحد الحلول المهمة لعلاج الكثير من الأمراض المزمنة، والتي ليس لها علاج. ومع أن هذه الخلايا لم تستعمل فعليا في علاج الأمراض، إلا أن هناك عدة حالات نشرت في المجلات الطبية استعملت فيها الخلايا الجذعية لعلاج بعض الأمراض (الشكل رقم ٤٨).



الشكل رقم (٤٨). استخدام الخلايا الجذعية لعلاج بعض الأمراض.

وعموما يعتقد أن دعم الأبحاث المتعلقة بالخلايا الجذعية بغض النظر عن مصدرها مهم للأسباب الآتية:

١- تزيد من غزارة المعلومات المتعلقة بنمو الإنسان، ومعرفة العوامل والمواد التي تتحكم في تخصص الخلية. ومن الثابت حاليًا أنه توجد جينات تتحكم في عملية تخصص الخلية، ولكن التقدم في هذا المجال ما زال بطيئا ومعقدًا.

٢ - استخدام الخلايا الجذعية في أبحاث الدواء؛ حيث يتم تجربة الدواء على هذه الخلايا في المعمل للتأكد من فاعليته، وأنه آمن على أنواع الخلايا المختلفة، ويتم ذلك قبل تجربته في الحيوانات والإنسان.

3 - تخليق خلايا وأنسجة لاستخدامها في علاج خلايا المرضى الذين يحتاجون إلى زراعة أعضاء، ولا تتوافر لهم الأعضاء المناسبة، ويتم استثارة هذه الخلايا لتكون خلايا لأنسجة معينة (الشكل رقم (٤٨) ، قد يبدو هذا المنظور نوعًا من الخيال في الوقت الحالي ولكن لا غرابة في ذلك إذا ما علمنا أن هناك أمثلة كثيرة كانت في عالم الخيال ثم أصبحت حقيقة في الوقت الحالي. قَالَ تَعَالَى: ﴿ عَلَى الْإِنسَانَ مَا لَمْ يَعْلَم) سورة العلق، آية (٥).

أعلن العلماء في الآونة الأخيرة عن اكتشاف الجين الرئيس في الخلايا الجذعية، الذي تعود إليه مقدرة تلك الخلايا التحولية والعلاجية، ويأملون من وراء هذا الاكتشاف أن يتمكنوا من تحويل الخلايا العادية إلى

خلايا جذعية، مما يزيل الحاجة إلى تدمير الأجنة للحصول على تلك الخلايا الجذعية. وقد استخدم الباحثون أجهزة كمبيوتر متطورة جدا ومعدات أخرى لاستعراض أكثر من خمسين ألف مركب عضوي، ليجدوا أن أحد هذه المركبات الكيميائية - ويسمى - (TWS -119)يلتصق بإنزيم في الخلايا الجذعية يسمى (GSQ-3Beta) . ولهذا الإنزيم أدوار عدة، غير أن العلماء وجدوا أن تقاطعه مع المركب الكيميائي (TWS -119)يحفز الخلية الجذعية على أن تصبح خلية دماغية. لكن هؤلاء العلماء ما زالوا لا يدركون تماماً كيف يلتصق هذا الجزيء بالإنزيم المذكور في الخلايا الجذعية، ولا يتفهمون بشكل كامل المسار الطبيعي الذي يتبعه هذا الجزء في تكاثره. إن استمرار الأبحاث والدراسات حول الخلايا الجذعية جعل العلماء يتقدمون عدة خطوات للأمام.

الواجب اليومي :

- قارن بين الطريقة الاولى والثانية للحصول على الخلايا الجذعية .

- اكتب مقالة علمية عن اهمية الطريقة الثالثة للحصول على الخلايا الجذعية .

الواجب الاسبوعي :

- اكتب تقرير لا يتجاوز 4 اوراق عن استخدامات الخلايا الجذعية وافرة القدرة Pluripotent Stem Cells Using