تعريف علم الحياة الجزيئي Molecular Biology:

هو مزيج من علم الحياة والكيمياء الذي يهتم بدراسة تكوين وتركيب ووظيفة الجزيئات الخلوية الكبيرة Macromolecules كالأحماض النووية والبروتينات ودورها في الفعاليات البايولوجية المهمة كالتضاعف الخلوي وتناقل المعلومات الوراثية.

تعريف علم الخلية Cytology:

هو العلم الذي يهتم بدراسة تركيب الخلية ووظيفتها وتكاثرها والتركيب الجزيئي لها كما يهتم بوراثة الخلية. كما يعرف بأنه العلم الذي يهتم بدراسة أنواع الخلايا وتخصصاتها ووظائفها وتركيبها.

وصف ودراسة الخلية الحيوانية

تعتبر الخلية الوحدة الأساسية للحياة (وحدة البناء والوظيفة)، هناك خاصية عامة للخلايا وهي حجمها المجهري مع بعض الاستثناءات مثل الأشنات البحرية Marine Algae (Acetabularia) التي يصل طولها إلى 5 سم. إن الخلايا الحقيقية يتراوح قطرها بين 10 – 100 مايكروميتر، أما الخلايا الأولية فيتراوح قطرها بين 1 – 10 مايكروميتر. وبسبب صغر حجم الخلايا لم يتمكن أحد من مشاهدتها إلى أن حسن عمل المجهر إذ تمكن العالم الإنكليزي روبرت هوك Robert Hooke سنة 1665 من صنع مجهراً مركباً (أي يحتوي على أكثر من عدسة)، وفحص أشياء عديدة بهذا المجهر منها شريحة رقيقة من الفلين (لحاء الأشجار) وشاهد تركيب يشبه خلية النحل وسماها Cellulae أي الغرف الصغيرة وكانت هذه الخلايا ميتة فارغة. ثم أصبحت التسمية الآن Cell أي الخلية.

أول من شاهد الخلية الحية (خلايا الطحالب) هو العالم الألماني: Antonie van Leeuwenhoek وفي سنة 1838 و1839 وضع كل من Theodor Schwann و Mattias Schleiden مايسمى بـ نظرية الخلية.

تعرف الخلية The Cell: بأنها الوحدة الأساسية للكائن الحي التي لها القدرة وبشكل مستقل على التكاثر الخلوي أو الإنتاج Reproduction والتي تتكون من السايتوبلازم والنواة (أو منطقة نووية) ومحاطة بغشاء خلوي.

وتعرف الخلية أيضاً بأنها وحدة unit محاطة بغشاء مكون من طبقتين مزدوجة Bilayer من الدهون المفسفرة Phospholipids وتحتوي هذه الوحدة على الإنزيمات enzymes وعناصر أخرى تمكنها من القيام بالعمليات الأيضية metabolism والتكاثر الخلوي reproduction المستقل واما الأيض فانه يستند الى اساس توليد المركب الغني بالطاقة الكيميائية وهو الأدنوسين ثلاثي الفوسفات ATP وأما التكاثر الخلوي فهو يستند الى المادة الجينية الوراثية DNA الحاملة للمعلومات الوراثية.

نظرية الخلية The Cell Theory

في العام 1838 وضع عالم النبات الألماني شلايدن فكرة أن الخلايا هي وحدة التركيب في النبات وفي العام 1839 وضع عالم الحيوان الألماني شوان فرضيات شلايدن على الحيوان وكلاهما قد افترض بأن الخلية هي الوحدة الأساسية للتركيب والوظيفة في الحياة وهذا ما يعرف حالياً بمبدأ الخلية. وفي الحقيقة فأن شلايدن وشوان قد استندا في فرضيتهم هذه على ما توصل إليه باحثين آخرين، وفي مفهومها الحديث تنص على ثلاث مفاهيم أساسية:

1- إن كل الكائنات الحية تتكون من خلية واحدة أو مجموعة خلايا وأن الخلية هي الوحدة الوظيفية الأصغر للحياة والأساسية لكل الكائنات، ولا يوجد هناك كائن على الأرض له صفة الحياة وليس مكوناً من الخلايا.

2- إن استمرار الحياة يتم من خلال الخلية حيث أن كل الفعاليات الحيوية والوراثية تحدث فيها. ونشأت جميع الخلايا السابقة (أو السلف) من انقسام الخلايا الحية وليس بتجميع أجزاء الخلية وموادها الكيمياوية أي ان المبدأ هو من الحياة تأتي الحياة.

3- وجود علاقة متبادلة بين تركيب الأجزاء الخلوية ووظيفتها. فالخلايا هي الوحدات الوظيفية للحياة حيث تتم فيها كل التفاعلات الكيميائية لإدامة حياتها وتكاثرها، أن الخلايا المتعددة للكائنات الحية ترتبط أحياناً لتكوين الأنسجة التي تقوم بوظيفة وحدات منفردة. إن الخلايا في الكائنات متعددة الخلايا تتجمع وترتبط بإحكام لكي تتمكن من الانقسام فتأخذ شكلاً متميزاً، وتقوم بالوظائف الضرورية.

تعريف الخلية The Cell:

- هي الوحدة الأساسية للحياة أي هي أصغر وحدة حية يمكنها أن تعيش وتتكاثر.

- الخلية: هي الوحدة الأساسية للحياة (هي وحدة البناء والوظيفة للكائن الحي) لكل الكائنات الحية. وتظهر جميع الخلايا تشابهاً من حيث احتوائها على النواة Nucleus التي توجه الفعاليات الحيوية المعقدة، وهيولى Cytoplasm الذي يقوم بالتواصل ونقل الفعاليات مع خارج الخلية، وغشاء خلية Cell membrane الذي يحيط الخلية وتتواصل عبرهُ مع الخارج. وتقسم الخلايا إلى نوعين:

أ- وحيدة الخلية كما في الأوليات

ب- عديدة الخلايا كما في الإنسان والنبات

- تنشأ كل خلية من خلية أخرى بالانقسام، وتحتوي الخلية على المعلومات الوراثية التي تورث من جيل

إلى جيل. وتتكون جميع الخلايا من مكونات أساسية هي الأحماض النووية والبروتينات والدهون والكاربوهيدرات والماء والأملاح.

– في الكائنات وحيدة الخلية: مثل الجراثيم Bacteria والأوالي Protozoa تقوم الخلية انجاز جميع الوظائف الأساسية للحياة، مثل تحويل الغذاء إلى طاقة والنمو والتكاثر.

– أما في الكائنات متعددة الخلايا: فإن الخلايا تتجمع وتشكل نسيجاً متخصصاً يقوم بوظيفة معينة كالنسيج العضلي وتشترك عدة أنسجة مختلفة معاً لتشكل عضواً يقوم بوظيفة معينة مثل القلب وتشكل عدة أعضاء مختلفة الجهاز الذي يقوم بوظيفة معينة مثل جهاز الدوران.

– تختلف الخلايا من حيث شكلها وبنيتها تبعاً لأماكن تواجدها في الجسم ووظائفها الحيوية، فبعضها يتخذ أشكالاً متباينة كما هو الحال في خلايا الدم البيضاء التي تتحرك حركة أميبية وتتشكل بأشكال مختلفة، والبعض الآخر له شكل ثابت، مثل الخلايا العصبية. كذلك تختلف الخلايا بعضها عن البعض في الحجم.

– إن الأنماط الخلوية المختلفة تعكس تطور ونشأة هذه الخلايا، وأن DNA الخلايا يتميز بالثبات ماعدا في حالة حدوث الطفرات Mutations التي ينتج عنها خلايا بخصائص جديدة من الناحية الشكلية والوظيفية. أي أن الكائنات المتعددة الخلايا يكون الانقسام الخلوي فيها ذا شكل ثابت طوال الحياة إلا إذا تعرضت الخلية إلى طفرة وراثية.

– تبدأ الكائنات المتعددة الخلايا حياتها من خلية واحدة هي البيضة الملقحة Zygote الناتجة من اندماج النطفة الذكرية والأنثوية (البويضة) ثم تنقسم لتعطي عدة خلايا جديدة تحتوي على الـ DNA (ثابت ومتماثل في كل الخلايا الجديدة المتكونة)، ثم تتميز هذه الخلايا إلى أنماط متباينة من حيث الشكل والوظيفة اعتماداً على مراحل التشكل الجنيني بعد التلقيح، وما يعقبه من اختلاف في نوعية الهيولى وهذا هو الذي يؤدي إلى التباين في العلاقات بينه وبين الوسط المحيط به وبين النوى التي ينشأ منها تثبيط أو تنشيط مورثات مختلفة تقود إلى تميز هذه الخلايا شكلياً ووظيفياً عن غيرها من الخلايا التي تنشط فيها مورثات أخرى وهكذا تظهر الأنماط المختلفة وظيفياً وشكلياً من الخلايا الكائن الحي.

تصنف الخلايا بشكل عام اعتماداً على الخصائص الشكلية والآليات الوظيفية إلى:

1– خلايا حقيقية النواة (حقيقيات النوى) Eukaryotes:

* تشمل جميع أنواع الخلايا التي تحتوي على أنوية حقيقية وتتميز باحتوائها على العضيات الخلوية Cellular organelles ومن أمثلتها الخلايا الحيوانية والخلايا النباتية ومعظم الأشنات Algae ووحيدات الخلية Protozoa.

* تحتوي على غشاء يفصل بين النواة ومكونات الخلية
* الخصائص الوظيفية لها تكون ضمن عضياتها مثل التنفس في المتقدرات Mitochondria، ومضاعفة الـ DNA والاستنساخ Transcriptions والترجمة (صناعة البروتين) Translation تتركز في النواة .
* أما الخلية النباتية فتمتلك الجسيمات الخضر.

2- <u>خلايا غير حقيقية (بدائية أو أولية النواة) (طلائعيات النواة) Prokaryotes</u>

- تشمل الجراثيم والاشنات الزرقاء.
- لا تحتوي على غشاء يفصل بين النواة وبقية مكونات الخلية.
- الإنزيمات المسؤولة عن النشاطات الحيوية مثل التنفس ترتبط إلى الغشاء الخلوي.
- لا يحتوي سايتوبلازم هذه الخلايا على عضيات منفصلة بأغشية.

مقارنة بين الخلايا البدائية النواة والخلايا حقيقية النواة:

ت	الصفة	بدائية النواة	حقيقية النواة
1	النواة	لا تحتوي على أنوية حقيقية	تحتوي على أنوية حقيقية
2	غلاف نووي	لا يوجد	يوجد
3	النوية	لا يوجد	يوجد
4	الانقسام	مباشر (الانشطار)	اعتيادي واختزالي
5	وجود الـ DNA	في السايتوبلازم	في النواة
6	العضيات	لا يوجد عضيات محاطة بأغشية	يوجد عضيات محاطة بأغشية
7	الحجم	أصغر من حقيقية النواة	أكبر من البدائيات
8	الحركة	بواسطة سوط بسيط التركيب	بواسطة اسواط وأهداب معقدة التركيب
9	النبيبات الدقيقة	لا يوجد	يوجد

10	جسم الكائن الحي	بسيط ومفرد الخلية في الغالب، كما أن الخلايا لا تكون أنسجة	معقد في الغالب (منها بسيط ومفرد الخلية) والأخر يتألف من عدد كبير من الخلايا تكون أنواعاً منها الأنسجة

أشكال الخلايا الحيوانية:

- تختلف أشكال وأحجام الخلايا تبعاً لوظيفتها فهناك خلايا قرصية الشكل مثل كريات الدم الحمر أو مغزلية الشكل كالخلايا العضلية أو متفرعة الشكل كالخلايا العصبية أو بيضوية أو نجمية أو متغيرة الشكل.
- كما تختلف الخلايا في أحجامها من خلايا كبيرة الحجم ترى بالعين المجردة مثل خلية بيضة الدجاجة إلى خلايا متناهية في الصغر لا يمكن رؤيتها إلا بالمجهر مثل الخلية البكتيرية.

<u>وظائف الخلية بشكل عام هي:</u>

1- تبادل المواد مع البيئة التي تحيط بالخلية. إذ تحصل الخلية على احتياجاتها من بيئتها الخارجية وتلقي إليها بفضلاتها وإفرازاتها.
2- التنفس للحصول على الطاقة اللازمة لفعاليات الخلية.
3- الاستجابة للمؤثرات الخارجية والتكيف والتطور لها.
4- الحركة في الوسط الحياتي.
5- النمو والتكاثر.

تركيب الخلية الحيوانية Cell Structure:

إن كل الكائنات الحية تتكون من الخلايا، الخلية هي وحدة الحياة لذلك لا يمكن أن تصور كائن حي غير خلوي. وباكتشاف المجهر الضوئي أمكن دراسة مختلف أجزاء الخلية ومتابعة فعاليات هذه الأجزاء الحيوية.

تشترك جميع الخلايا الحيوانية بأنها مكونة من نواة وسايتوبلازم ومحتوياته وغشاء خلوي يحيط بالخلية. كل خلية تقوم بأداء وظيفة معينة، وهناك تخصص في عمل خلايا الكائن الحي. فالخلايا الجسمية Somatic cells متخصصة لأداء وظيفة الحس (كالخلايا العصبية) أو الحماية (كخلايا بشرة الجلد) أو النقل (كخلايا الدم الحمر). والخلايا الجنسية Sexual cells متخصصة للتكاثر فقط

(كالخلايا المولدة للنطف).

إن العضيات الموجودة في الخلية تعمل على انجاز الفعاليات الحيوية للخلية، وتزيد من كفاءة أجزاء الخلية، وتوفر الحماية لها، وتمكن الخلية من تكوين وإفراز المواد الضرورية لحيوية الخلية، وإنتاج الطاقة والتخلص من نواتج الايض وكذلك تمكنها من التكاثر Reproduce.

إن أجزاء الخلية Organelles تتقاسم وظائف الخلية وتتداخل وظائف بعضها ببعض لكي تنجز مختلف الوظائف الأساسية للخلية.

أن أجزاء الخلية متعددة ويختلف مستوى نشاط هذه الأجزاء وتطورها باختلاف تخصص الخلايا وكذلك يختلف حسب المرحلة الفسلجية التي تمر بها الخلية. وتتكون الخلية من:

1- الغشاء الخلوي.
2- الهيولى.
3- نواة الخلية.
4- العضيات الخلوية.

1- الغشاء الخلوي Cell membrane (Plasms membrane):

إن من أهم الفعاليات الحيوية للخلية هي تفاعلها مع البيئة المحيطة بها، حيث تعطي أو تأخذ المواد من الوسط المحيط بها بشكل مستمر لا يتوقف طيلة الحياة، وهذا يتم كله عبر آليات وطرق متعددة عبر غشاء الخلية.

إن الغشاء الخلوي هو الذي يعطي شكل الخلية الثلاثي الأبعاد المميز لها وله أهمية في المحافظة على محتويات الخلية من التبعثر، كما يسمح بالتبادل الغازي وينظم المواد التي تدخل وتخرج من والى الخلية من الماء والأملاح والمواد الأخرى (أي غشاء ذو نفوذية اختيارية)، وكذلك ينظم اتصال الخلية مع غيرها من الخلايا وهو ليس مجرد سطح عازل وإنما هو منظم لكثير من الفعاليات الحيوية ويحتوي على العديد من المستقبلات الخاصة ترتبط بها بعض المكونات الخاصة مثل الإنزيمات التي تميز الخلية وظيفياً وتلعب دوراً مهماً كما في حالة رفض الأعضاء المنقولة من كائن آخر.

تركيب الغشاء الخلوي The structure of cell membrane:

يشكل الغشاء الخلو ويسمى بالغشاء البلازمي حدود الخلية الذي يفصل المحتوى الداخلي للخلية عن محيطها الخارجي حيث أن جميع المواد الداخلة أو الخارجة من الخلية يجب أن تمر عبر الغشاء

الخلوي. وهو غشاء نفاذ Permeable يعمل عمل غشاء نصف ناضح وفي نفس الوقت له القابلية الاختيارية للمواد الداخلة والخارجة من خلاله كما تساهم في حالات كثيرة جزيئات ناقلة موجودة ضمن الغشاء البلازمي في عملية نقل المواد عبر الغشاء وتتم هذه العملية بصرف كميات كبيرة من الطاقة الكيميائية.

وبالنظر لكون الغشاء البلازمي رقيق جداً (ذو سمك يتراوح بين 7 – 9 نانومتر) لذلك لا يمكن تمييزه بسهولة باستخدام المجهر الضوئي. ويلاحظ في بعض الخلايا أن الغشاء البلازمي محاط بطبقات واقية أكثر سمكاً بحيث يمكن تمييزها بالمجهر فمثلاً معظم الخلايا لنباتية تمتلك جداراً سليلوزياً سميكاً يغطي ويدعم الغشاء البلازمي والذي يطلق عليه اسم الجدار الخلوي Cell Wall أما خلايا الحيوانات فبعضها محاط بمواد قوية. إن للجدار الخلوي وظائف مهمة للخلية غير انه يلعب أي دور في عملية عبور المواد وانتقالها من والى الخلية.

إن الوظائف المعقدة للأغشية البايولوجية (الخلوية) يمكن تحققها بسبب مميزات الدهون الفسفورية التي تكونها. إذ إن الدهن الفسفوري يتكون من جزيئات دهن (عادة جزيئتين) مرتبطة مع مجموعة فوسفات (ذرة فسفور مرتبطة مع أربع ذرات أوكسجين: PO_4).

والغشاء الخلوي غشاء مزدوج يتكون من البروتينات Proteins والدهون Lipids التي تكون مرتبة مع بعضها البعض بشكل طبقة رقيقة بواسطة أواصر غير تساهمية وتعتمد نسبة الدهن إلى البروتين على نوع الغشاء الخلوي، كما ويؤثر نوع الكائن الحي فيما إذا كان حقيقي النواة أو بدائي النواة على هذه النسبة.

إذن الغشاء الخلوي غشاء مزدوج من طبقتين من الدهون الفسفورية Bilayer phospholipidsفالنهاية الفوسفاتية القطبية للدهن الفسفوري تكون محبة للماء أو أليفة للماء Hydrophilicوترتبط به وقريبة من الوسط المائي (خارج وداخل الخلية)، أما النهاية الفوسفاتية غير القطبية للدهن الفسفوري (ممثلة بالحامضين الدهنيين) تكون نافرة للماء أو كارهة للماء Hydrophobic وتمتد متوازية لبعضها بعيداً عن الوسط المائي تتواجد داخل الغشاء. ولهذا عادة ترسم الدهون الفسفورية بشكل تركيب له نهاية قطبية Polar end (محبة للماء) مع ذيلين غير قطبيين (نافرين للماء). وتعتبر الدهون الفسفورية عازلاً كفوء في الأوساط المائية، لأن أي جزيئة (مادة) لها شحنة كهربائية تتمكن من عبور النهاية (الوسط) غير المحب للماء للدهن الفسفوري.

تتخلل الدهون الفسفورية بروتينات (٤٠ % دهون ٦٠ % بروتينات) مختلفة وهي التي تعطي تشكل الممر للجزيئات المحبة للماء والايونات لكي تدخل إلى الخلية أو تغادرها. إن البروتينات التي

تتخلل الدهون الفسفورية يمكن أن تتحرك وتغير أماكنها بسرعة مختلفة لذلك تدعى أحياناً (البروتينات – طبقتي الدهون الفسفورية) بـ الموزائيك السائل Fluid Mosaic. وقد تقع أو تتواجد بروتينات الغشاء الخلوي كلياً خلال طبقتي الدهون الفسفورية أو قد تقطعها بالكامل لكي تظهر من إحدى أو كلتا النهايتين (الوجهين للغشاء الخلوي: الوجه المواجه لداخل الخلية والوجه المواجه لخارج الخلية).

إن بعض بروتينات الغشاء الخلوي ترتبط مع الكاربوهيدرات Glycoproteins التي تمتد خارج الغشاء الخلوي مما يعطي بعض المميزات التي تساعد على تداخله وتفاعله مع الخلايا الأخرى.

إن وظائف البروتينات تتحد من خلال موقعها في الغشاء الخلوي فالبروتينات الغشائية Membrane proteins من المكونات الرئيسة لمعظم الأغشية البايولوجي ولها وظائف متعددة فهي تدخل في التركيب الميكانيكي فبعضها يعمل كمستقبلات Receptors ترتبط بجزيئات من الخارج ويؤدي ذلك إلى سلسلة من التفاعلات داخل الخلية، وبعضها تشكل وسيلة تمكن الخلية من الارتباط مع بعضها البعض (الخلايا المتجاورة) وهذا يساعد على تداخل وتكامل عملها، قد تعمل البروتينات كقنوات أيونية تمر من خلالها ايونات معينة وتعمل أيضاً كجزيئات نقل Carriers.

إن بروتينات الغشاء الخلوي تكون على شكلين منها:

أ- البروتينات المدمجة Integral proteins: وتكون مارة عبر سمك الغشاء الخلوي (تتخلل بين الدهون الفسفورية) وتترتب أيضاً بحيث تكون نهاياتها القطبية للخارج والأخرى للداخل، وهذه البروتينات يكون أجزاء منها مغمورة في طبقة الدهن الثنائية وأجزاء أخرى مواجهة لأحد السطحين (الخارجي أو الداخلي) أو كليهما ويشكل هذا النوع من البروتينات الغشائية نسبة تزيد على ٧٠ %.

ب- البروتينات الطرفية Peripheral proteins: تكون على سطح الغشاء الداخلي (بشكل رئيس) أو سطح الغشاء الخارجي، وهي تمتلك خاصية قطبية وتشمل البروتينات التي تغطي مناطق معينة من طبقة الدهن الثنائية ولا تخترقها وتشكل نسبة تقل ٣٠ % من مجموعة البروتينات الغشائية.

توجد الكاربوهيدرات بنسبة قليلة جداً في الأغشية الخلوية بصورة سلاسل قصيرة أو متفرعة، وفي بعض الأحيان توجد جزيئات السكر متصلة بالبروتينات الطرفية الخارجية Peripheral Proteins مكونة ما يسمى بالبروتينات السكرية Glycoproteins تتصل بالنهايات القطبية لجزيئات الدهون المفسفرة في طبقة الدهن الخارجية مكونة الدهون السكرية Glycolipids ولا توجد الكاربوهيدرات الغشائية على السطح الداخلي للأغشية البلازمية.

كذلك يلاحظ وجود بين الأطراف الكارهة للماء في طبقتي الدهون جزيئات الكولسترول وهو له قطبية ضعيفة وإنزيمات عديدة ومستضدات متنوعة Antigens وأعداد كثيرة من الجزيئات المستقبلةReceptor .molecules

فرضيات الغشاء الخلوي Hypothesis of cell membrane:

لقد وضعت العديد من الفرضيات لتفسير آلية عمل وتركيب ووظيفة الغشاء الخلوي منها:

1- نموذج دانيل ودافسون Danielli and Davson Model:

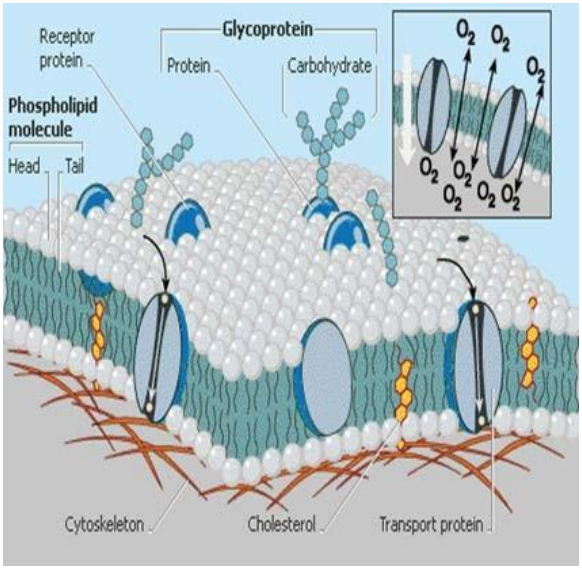
وضعت سنه ١٩٣٥ وفيها افتراض أن الغشاء الخلوي يتكون من طبقتين من الدهون الفسفورية ومغطاة بالبروتينات الكروية.

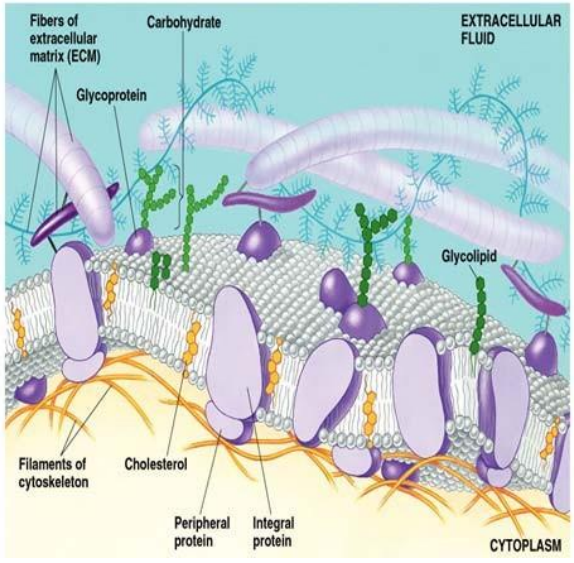
2- نموذج وحدة الغشاء Robertson unit-membrane Model:

يفترض أن الغشاء الخلوي يتكون من طبقتين من الدهون الفسفورية المغطاة بطبقة من البروتينات. وهي تظهر تحت المجهر على شكل طبقات مظلمة – مضيئة – مظلمة.

3- نموذج الموزائيك السائد Fluid mosaic Model:

وضعت هذه الفرضية من قبل العالمين Singer and Nicolson وتفترض أن الغشاء الخلوي يتكون من طبقتين من الدهون الفسفورية، تتحرك خلالها وحولها البروتينات. وهي تفترض أن الشكل والتركيب (مكونات الغشاء ونسبها ومواقعها) يتغير تبعاً للحالة الفسلجية التي تمر بها الخلية. وهي الفرضية الأقرب للصحة ولواقع عمل الغشاء الخلوي.





2- النواة Nucleus:

هي العضو الأكبر والأسهل ملاحظة في الخلية الحيوانية وعادة تقع وسط الخلية ويكون شكلها كروياً على الأغلب. وصفت النواة لأول مرة من قبل العالم النباتي روبرت براون Robert Brown سنة 1831م.

والنواة هي تركيب كروي يتوسط الخلية وهي المركز المسيطر والموجه لفعاليات الخلية الحيوية وذلك لاحتوائها على المادة الوراثية DNA المسؤولة عن انتقال الصفات الوراثية لتي تظهر في الكروموسومات (الكروماتين Chromatin هو DNA مع بروتينات أخرى). إن معظم الخلايا الحيوانية لها نواة واحدة (الفطريات تمتلك أكثر من نواة). وبعض الخلايا تفقد النواة عندما تنضج كما في حالة كريات الدم الحمر في الثدييات.

تقوم النواة بالسيطرة على وظائف الخلية من خلال سيطرتها وتنظيمها للآليات المسؤولة على بناء البروتينات وكذلك آلية تكاثر الخلية. وقد تحتوي الخلية الحيوانية على نواة واحدة أو أكثر وقد تحتوي على نوية Nucleolus واحدة أو أكثر.

تحاط النواة بغشاء مزدوج يفصلها عن الهيولى Cytoplasm يدعى الغشاء النووي Nuclear membrane الذي يتكون من طبقتين من الدهون الفسفورية المسافة بينهما ٢٠ – ٤٠ نانومتر، الطبقة الخارجية تتواصل مع تراكيب غشائية في الهيولى تدعى الشبكة الهيولية أو الاندوبلازمية Endoplasmic reticulum يندمج الغشاءان النوويان في أماكن عديدة لتكوين ما يعرف بـ الثغور Pores(كوسيلة للتبادل بين النواة والسايتوبلازم) وهي مناطق تكون فيها طبقتي الغشاء النووي مثقوبة وهذه الثغور تكون فارغة، إذ دائماً فيها بعض البروتينات التي تعمل كحراس لمدخلها. تسمح الثغور بدخول وخروج المواد مثل البروتينات والـ mRNA وغيرها من وإلى النواة، وتكون عالية التخصص بالنسبة للمواد التي تمر منها، إذ إن هناك بروتينات تدعى Importins وExportins تسهل دخول وخروج جزيئات المواد من وإلى النواة (بين النواة والهيولى).

هكذا نجد أن النواة تغلف بغشاء نووي مزدوج يغلف داخلها الذي هو وسط سائل

Nucleoplasmالذي يحتوي على الكروموسومات.

كما ويوجد داخل النواة مناطق غامقة اللون بشكل جسم صغير جداً يدعى النوية Nucleolus وهي المنطقة التي يحصل ويتركز فيها بناء الـ RNA الرايبوزي (rRNA).

في كل من الخلايا الأولية Prokaryotes وفي الخلايا الحقيقية Eukaryotes فان المعلومات الوراثية الموجودة في الـ DNA هي التي تحدد شكل ووظيفة الخلية.

في الخلية الأولية يكون الـ DNA على شكل حلقة Circle أما في الخلايا الحقيقة فان الـ DNAيكون على شكل كروموسومات خيطية، وعادة فان الكروموسومات تمتد بشكل خيطي Thread like (مجموعة من البروتينات) يدعى الكروماتين Chromatin وبهذا يستطيع الـ DNA توجيه الفعاليات الحيوية للخلية.

يكون الـ DNA في الخلية الفعالة النشيطة ملتفاً بشكل مرتخي Loosely coiled حول مجموعة من البروتينات تدعى الهستونات Histones ويدعى هذا التركيب بـ النيوكليوسومات Nucleosomes. هذا التركيب يشبه خرزات السبحة ويسمح لامتداد الكروموسومات بارتباط الإنزيمات التي تعمل على استنساخ الـ RNA من سلسلة الـ DNA وبالتالي توجه بناء البروتينات الضرورية لنشاط الخلية.

أما عندما تتحضر الخلية للدخول في الانقسام الخلوي فان الـ DNA يلتف بقوة حول الهستونات (مكثفCondensed) حتى يكون على شكل كتلة Compact mass وتظهر بالمجهر الضوئي على شكل عصي كثيفة في الخلايا الداخلة في الانقسام. وبعد اكتمال الانقسام الخلوي فان الكروموسومات ترتخي ولا يمكن رؤيتها بعد ذلك بالمجهر الضوئي.

النواة تحتوي على المادة الوراثية التي هي سلاسل من الـ DNA مع ما تحتويه من القواعد النتروجينية والتي تكون على شكل مزدوج من سلسلتين منDNA ، هذه السلاسل من الـ DNA تستخدم كقالب أو أساس لاستنساخ Transcription سلاسل من RNA (الحامض النووي الرايبوزي Ribonucleic acid) والذي يتم بعد ذلك تشكيله وتحويله إلى الأنواع الثلاثة من الـ RNA الضرورية لبناء البروتينات وهي:

1- Ribosomal-RNA: r-RNA الرايبوزي: والذي يدخل في تركيب الرايبوسومات.

2- Transfer -RNA: t-RNA الناقل: والذي يعمل على نقل الأحماض الأمينية في الهيولى لكي يدخلها إلى بناء البروتينات في الرايبوسومات.

3- Messenger -RNA: m-RNA الرسول: والذي يحمل المعلومات الوراثية (الشفرة الوراثية)

التي تؤهله لبناء البروتينات المختلفة بعد أن يرتبط مع الرايبوسومات.

عند انقسام الخلية تتحول المادة الكروماتينية المنتشرة في النواة إلى خيوط واضحة سميكة هي الكروموسومات التي تحمل الجينات genes وهذه بدورها تحمل الأحماض النووية، ويكون الحامض DNA هو المسؤول عن نقل الصفات الوراثية من الآباء إلى الأبناء ومن الخلية الم إلى الخلايا المنقسمة حديثاً.

الحامض النووي الرايبوزي منقوص الأوكسجين Deoxyribonucleic acid(DNA) والحامض النووي الرايبوزي Ribonucleic acid (RNA)

لكل فرد منا صفاته الجسمانية والعقلية الخاصة والتي تميزه عن أي فرد آخر، وليس هذا في الإنسان فقط وإنما لكل كائن حي صفاته التي تجعل كل كائن متفرد في صفاته، لكن ما السر في ذلك؟ ما الذي يجعل الصفات تختلف حتى بين أفراد النوع الواحد؟ نعلم جميعاً أن وحدة بناء الكائن الحي هي الخلية، وتحتوي كل خلية على نواة بداخلها وحدات المعلومات الوراثية التي تتحكم في الصفات الموروثة ويطلق عليها اسم الجينات، التي يختلف عددها من كائن لآخر فعددها في الإنسان 46 كروموسوم. يتكون الكروموسوم من مركبين رئيسيين هما الحامض النووي الرايبوزي منقوص الأوكسجين (DNA) (الذي يحمل الجينات) والبروتينات.

يعتبر الـ DNA المادة الوراثية التي توجد في النواة. تعددت النظريات حول طبيعة التركيب الجزيئي لـ DNA وأقربها للواقع هو ما توصل إليه كل من الباحث (Watson Crick واطسون وكريك) عام ١٩٥٣ وباستخدام صور سابقة قامت بعملها الباحثة Rosalind Franklin والباحثة Maurice Wilkins إلى تصور كامل حول تركيب وشكل الـ DNA وكيفية تخزين وحفظ المعلومات الوراثية، وكيف يتم نقلها من جيل إلى آخر.

نشر الباحثان Watson وCrick دراستهما في مجلة Nature ونالا عليه جائزة نوبل لعام ١٩٦٢. أشارا العالمان إلى أن الـ DNA يتكون من سلسلتين من النيوكليوتايدات Nucleotides التي تلتف على شكل حلزون مزدوج Double helix وترتبط فيه السلسلتين عن طريق أواصر هيدروجينية تربط القواعد النتروجينية بين السلسلتين، وعادة يرتبط الأدنين مع الثايمين A-T والكوانين مع السايتوسين G-C.

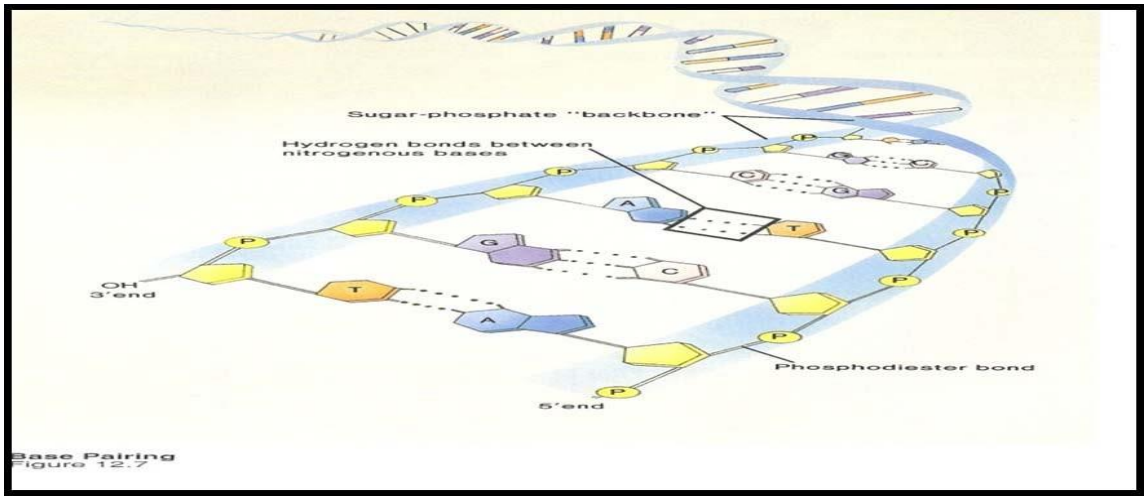
وتتركب كل نيوكليتيدة من 3 مكونات هي:

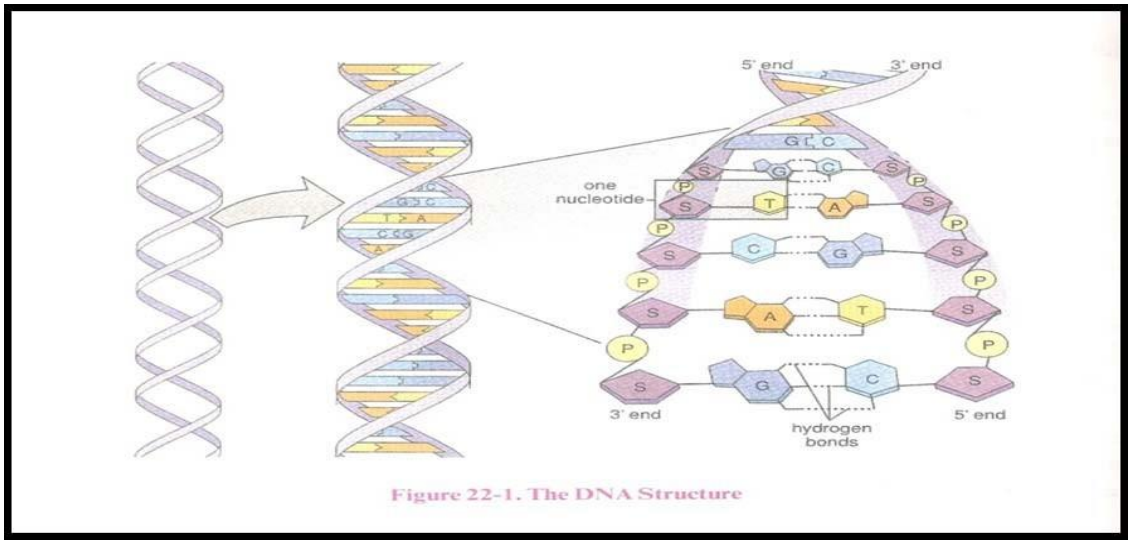
1- سكر خماسي يسمى بنتوز Pentose ويعرف هذا السكر بـ دي أوكسي رايبوز

.Deoxyribose

2- مجموعة فوسفات مرتبطة برابطة تساهمية بذرة الكاربون الخامسة من السكر.

3- قاعدة نيتروجينية ترتبط برابطة تساهمية بذرة الكاربون الأولى في السكر الخماسي.





القواعد النتروجينية في الـ DNA: Nitrogenous Bases of DNA

إن القواعد النتروجينية الموجودة في الـ DNA تكون على نوعين:

1- القواعد البيورينية Purines: وتتكون من حلقتين عضويتين، ويوجد به نوعين من البيورين هما:

Adenine (A) الأدنين.

Guanine (G) الكوانين.

2- القواعد البيريميدينية Pyrimidines: ويتكون تركيبها من حلقة عضوية واحدة. ويوجد به نوعين من البيرميدين هما:

Thymine (T) الثايمين.

Cytosine (C) السايتوسين.

- إن ارتباط أزواج القواعد A – T و G – C يعطي عرضاً Width للمزدوج، وان الارتباط الخاص بين القاعدة البيورينية والقاعدة البيريميدينية في السلسلتين المتقابلتين تدعى: أزواج القواعد المكملة Complementary Base Pairs.
- إن سلسلتي الـ DNA تكون متعاكسة في الاتجاه، أي أن إحدى السلسلتين تبدأ بالكاربون 5 يقابل نهايتها السلسلة التي تبدأ بالكاربون 3.
- إن ترتيب السلسلتين (الرأس مقابل الذيل) Head - to – Tail يعني أن جزيئة الـ DNA تكون سلسلتيها متعاكسة عند مرورها موازية لبعضها Anti parallel.

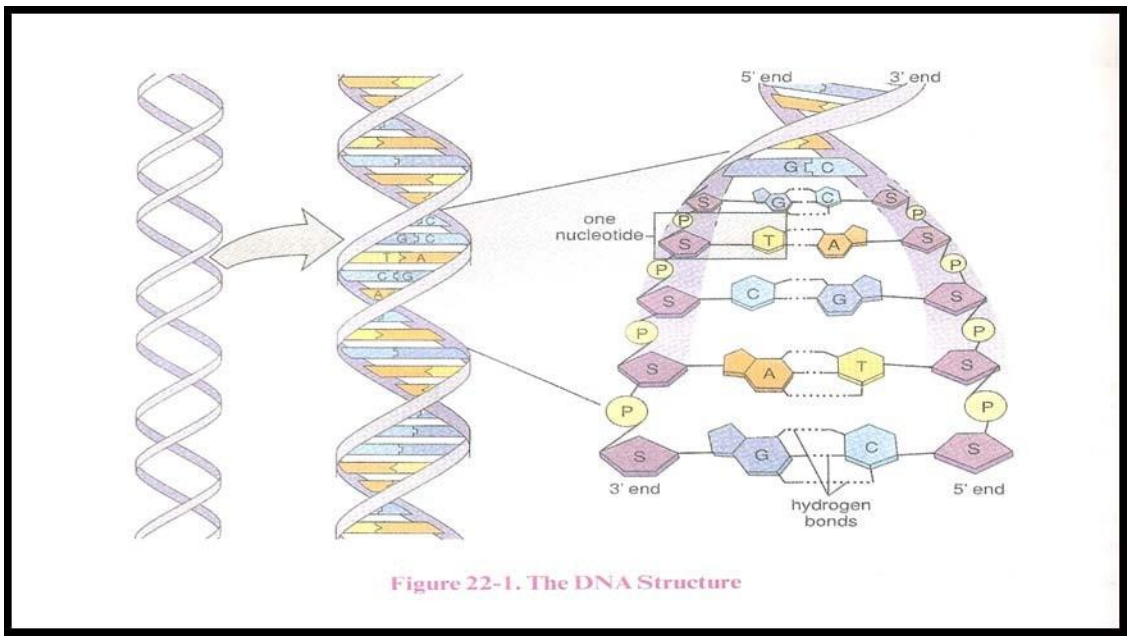


Figure 22-1. The DNA Structure

ملاحظات:

1- جزيء السكر ومجموعة الفوسفات يكونان العمود الفقري لجزيء الـ DNA والقاعدة النتروجينية تتصل بجزيء السكر من الجانب.

2- تتقابل القواعد النتروجينية (لتربط سلسلتي نيوكليوتايدات الكروموماتيدين) بنظام خاص بحيث تتقابل إحدى البيورينات في سلسلة مع إحدى البيريميدينات في السلسلة الأخرى (A تقابل T) و (C تقابل G).

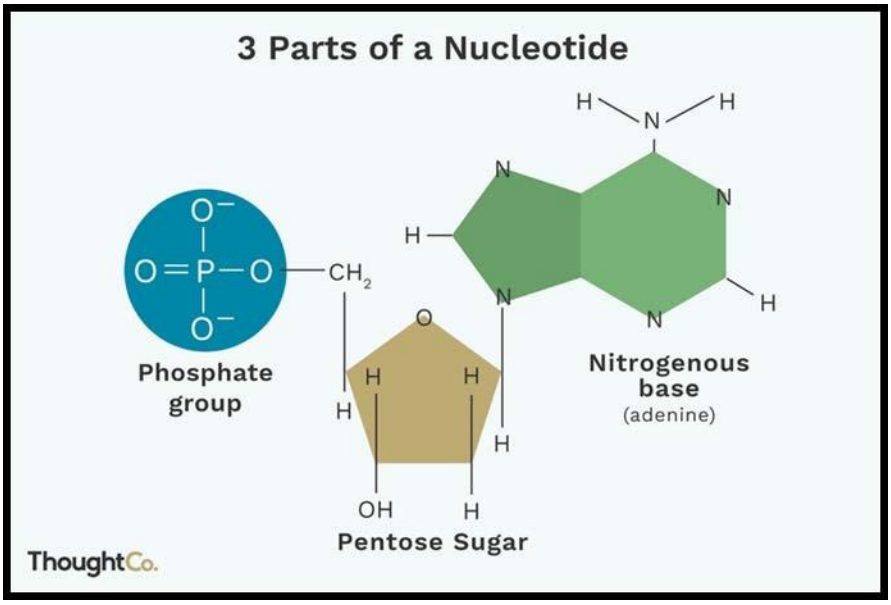
3- ترتبط القاعدتين المتقابلتين برابطة هيدروجينية؛ وإذا انشطر الكروموسوم طولياً (حيث نتح

الرابط الهيدروجينية) تنتج سلسلتين لكل منهما القدرة على بناء سلسلة مكملة لها وذلك حسب ما أثبته العالمان "ميسلسون ستاهل".

4- في عينات الـ DNA (المختلفة المصدر) فإن مجموع كمية البيورينات = مجموع كمية البيريميدينات.

إن العمود الفقري لجزيئة الـ DNA يتكون من وحدات متعاقبة من السكر الرايبوزي المنقوص الأوكسجين ومجموعة الفوسفات المرتبطة بأواصر تساهمية قوية Convalent bond.

النيوكليوتايد Nucleotide: يتكون النيوكليوتايد في الـ DNA من سكر رايبوزي منقوص الأوكسجين ومجموعة فوسفات وقاعدة نيتروجينية.



- * كيف يمكن للخلية أن تحتوي أو تضم الكمية الكبيرة من الـDNA ؟

لتوضيح ذلك نلاحظ المثال الآتي:

إن خلية الإنسان (تضم 46 كروموسوم أي 23 زوج من الكروموسوم) وإذا أردنا كتابة أزواج القواعد النتروجينية المرتبطة بين سلسلتي الـ DNA وعددها حوالي 3.2 بليون فان كتابتها يحتاج إلى 4000 كتاب كل منه له 500 صفحة.

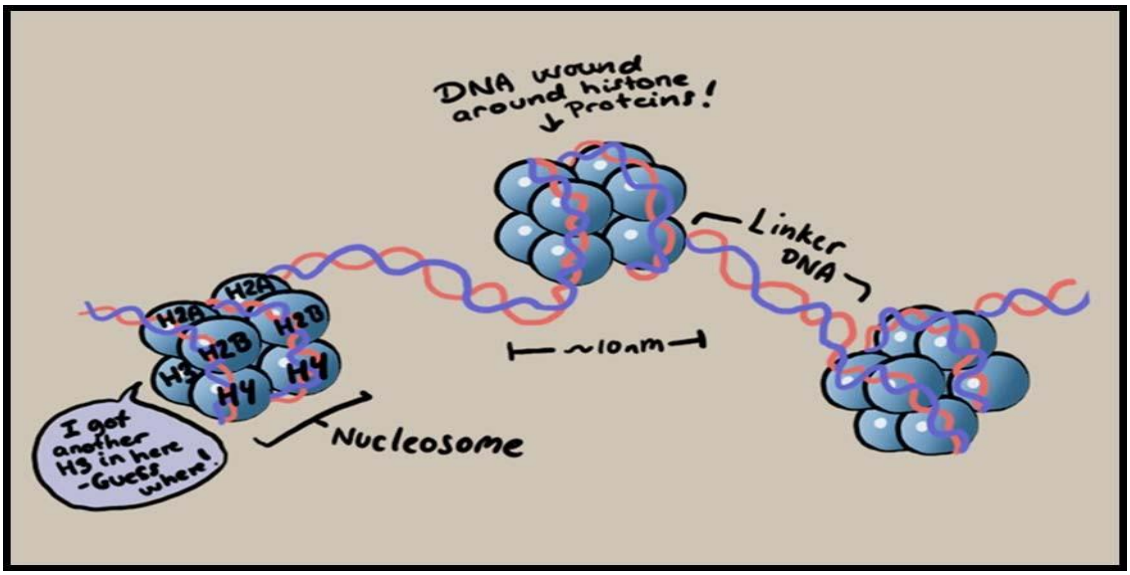
- * إذن كيف يمكن لخلية مجهرية لا ترى إلا بالمجهر أن تضم سلاسل الـ DNA هذه؟

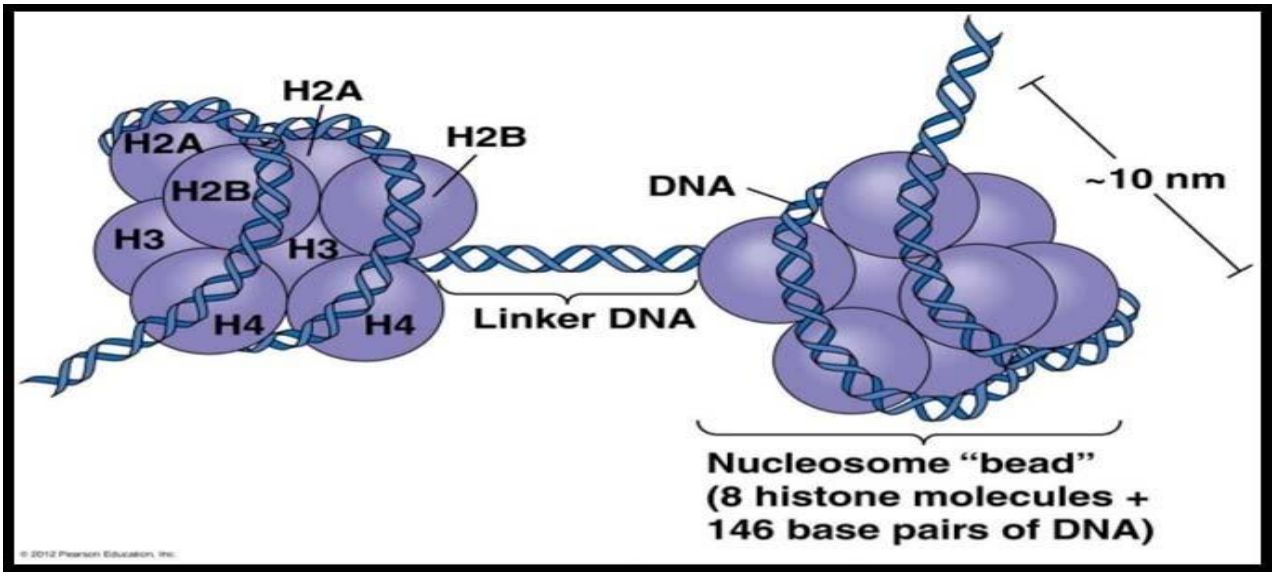
إن ذلك يكون عن طريق التواء أو التفاف الـ DNA حول بروتينات خاصة وهكذا تكون كلها في حجم صغير جدا يقلل المكان الخاص بها، وكذلك ينظم وضع الـ DNA بشكل يفيد الخلية لعملها.

وفي الخلايا الحقيقية لكي تكون كروموسوم فان قطع من الـ DNA تتكون من 146 زوج من القواعد النتروجينية تلتف مرتين حول جزيئات من بروتينات الهستونات Histones لتكون تركيب يدعى Nucleosomes يبلغ قطره 10 نانوميتر (10 nm).

ويستمر ارتباط الـ Nucleosomes والتي تطوى بعد ذلك بشكل مستمر في تراكيب يبلغ قطرها ٣٠ نانومتر.

– إن هذه التراكيب توضح كيف يمكن خزن الـ DNA في كروموسومات الخلية وكذلك فإنها توفر حماية تمنع مهاجمة الإنزيمات الهادمة لسلاسل الـ DNA.





كيف يمكن استنساخ سلاسل الـ DNA ؟؟؟؟؟: (Replication DNA)

بشكل عام من الناحية النظرية يمكن القول بان الـ DNA تستنسخ بإحدى ثلاث طرق:

1- الطريقة شبه الحافظة لسلاسل الـ DNA: DNA Semiconserative Method:

ويقصد بها أن سلاسل الـ DNA المستنسخة (الجديدة) تكون إحداها من السلسة القديمة والسلسلة الأخرى جديدة (ناشئة ومكونة أثناء الاستنساخ) أي بمعنى أن سلسلة واحدة من مزدوج الـ DNA تم الاحتفاظ بها في الجيل الجديد من الـ DNA.

2- الطريقة الحافظة لسلاسل الـ DNA: DNA Conservative Method:

لأنه يصعب من الناحية النظرية أن نفصل سلاسل الـDNA ، اقترح العلماء وقالوا أن سلسلتي الـ DNA (المزدوج) تستنسخ وتكون مزدوج جديد يرتبط مع بعضه (أي أن السلاسل القديمة تبقى مجتمعة في مزدوجها، والسلاسل الجديدة المتكومة ترتبط مع بعضها).

3- الطريقة المشتتة لسلاسل الـ DNA: DNA Dispersive Method:

التي اقترح فيها العلماء أن مزدوج الـ DNA ينشطر إلى قطع أصغر ترتبط بعد ذلك مع قطع من الـ DNA الجديد المستنسخ وبذلك يتوزع الـ DNA القديم والجديد على جزيئتي الـ DNA (القديمة والناشئة الجديدة).

وقد اثبت العلماء عن طريق تجارب عديدة أن الطريقة شبة الحافظة (الأولى) هي الأكثر قبولاً وهي التي تتم حقيقةً.

الحامض النووي الرايبوزي (الرايبونيوكلك) Ribonucleic acid (RNA):

معظم الخلايا بدائية النواة وحقيقية النواة تحتوي على حامض نووي غير الـ DNA وهو ما يسمى بـ RAN، يكون الـ RNA بين 5-10% من الوزن الكلي للخلية، يتم عادة في نواة الخلية استنساخ Transcription لإحدى سلاسل مزدوج الـ DNA لكي يتكون الـ RNA. وخلالها يتم استخدام إحدى سلاسل مزدوج الـ DNA تدعى (Coding Strand) لعمل سلسلة مقابلة من الـ RNA (فقط يستبدل الثايمين باليوراسيل (U) Uracil.

- ويكون اتجاه الـ RNA الجديد المستنسخ معاكساً أيضاً لسلسلة الـ DNA (سلسلة الـ DNA تبدأ من

5¯ وتقابلها سلسلة الـ RNA الناشئة من بداية 3¯).

– عادة يتم استنساخ وتصنيع 3 أنواع من الـ RNA في الخلية ويقوم كل منها بوظيفة معينة وتتكامل وظائفها جميعاً وتعمل من اجل بناء البروتينات في الخلية.

1– r-RNA: Ribosomal-RNA:

يصنع في النوية بمساعدة إنزيم يدعى RNA-polymerase I ويشارك في تكوين الرايبوسومات المنتشرة في الهيولى والمرتبطة مع غشاء الشبكة الهيولية.

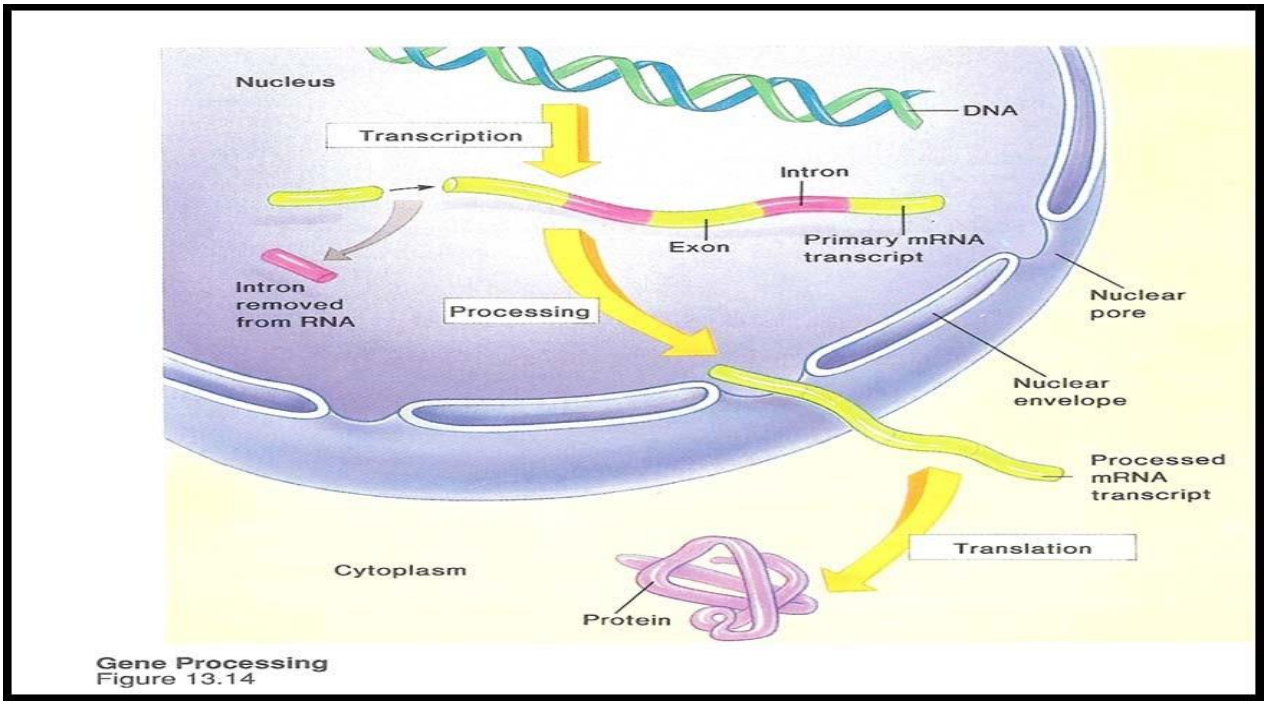
2 – m-RNA: Messenger- RNA:

يصنع في النواة بمساعدة إنزيم يدعى RNA-polymerase II ويعمل على تنظيم الشفرة الوراثية (يحمل الشفرة الوراثية) الخاصة بالبروتينات التي تصنعها الخلية.

3 – t-RNA: الناقل Transfer – RNA:

يصنع في النواة بمساعدة إنزيم يدعىRNA-polymerase III ويعمل على نقل الأحماض الأمينية في الهيولى ويدخلها كل في موقعها اعتماداً على الشفرة الوراثية.

4– وهنالك نوع آخر من الـ RNA يصنع في المتقدرات (كمية قليلة) وذلك لوجود DNA (كمية قليل) في المتقدرات خاص بها وبمساعدة إنزيم يدعىRNA-polymerase IV.



Gene Processing
Figure 13.14

مقارنة بين كل من مادة DNA وRNA

ت	DNA	RNA
1	يتكون من سكر رايبوزي منقوص الأوكسجين	يتكون من سكر رايبوزي غير منقوص الأوكسجين
2	يوجد في النواة	غالباً في السايتوبلازم والبعض في النواة موجود في النوية
3	يتكون من سلسلتين حلزونيتين	يتكو من سلسلة واحدة غير حلزونية
4	يحتوي على القواعد النيتروجينية الثايمين والسايتوسين	يحتوي على القواعد النيتروجينية السايتوسين واليوراسيل

3- هيولي الخلية أو السايتوبلازم Cytoplasm

ويسمى بالسايتوبلازم وهو مادة هلامية (شبه جلاتينية) متكونة من مواد بروتينية ودهنية وسكريات وماء وأملاح. ويعتبر الموقع الذي يتم فيه ترجمة الفعاليات الحيوية للخلية والتي تنظم بعوامل صادرة من النواة بشكل عام. السايتوبلازم يشكل مادة الخلية والذي يحتوي على عضيات Organelles مهمة تشغل ما يعادل نصف حجم الخلية عادةً.

إن هيولي الخلية هو المكان الذي يتم فيه التعبير عن الفعاليات الحيوية للخلية عن طريق تصنيع البروتينات (عن طريق الشفرة الوراثية) وكذلك تصنيع الدهون والهرمونات وغيرها من المواد التي تحتاجها الخلية لفعاليتها الخلوية وحسب تخصص كل خلية.

والهيولى يضم وسط تنغمر فيه كل العضيات الخلوية مثل:

1- المتقدرات Mitochondria.

2- الشبكة الهيولية الداخلية بنوعيها الملساء والخشنة Endoplasmic Reticulum.

3- أجسام كولجي Golgi apparatus.

4- الرايبوسومات Ribosomes.

5- الجسيمات الحالة Lysosomes.

6- البيروكسيسومات Peroxisomes.

إضافةً إلى العديد من الحويصلات Vesicles التي تحتوي مواد إفرازية أو مواد أولية تحتاجها الخلية لفعالياتها الحيوية.

إن العضيات الخلوية Organelles تقسِم وتنظِم النشاطات الخلوية بكفاءة، وتحمي محتويات الخلية من أذى المواد الكيمياوية ونواتج الايض، وتمكن الخلية من إفراز مواد مهمة لحيوية الخلية، وإنتاج الطاقة، والتخلص من الفضلات الأيضية، وكذلك التكاثر.

إن العضيات الخلوية تقسم الوظائف الحيوية للخلية على مستوى الخلية، مثل وجود عدة أقسام في مصنع إذ يقوم كل جزء بعمل معين، ثم تتداخل وتتفاعل هذه الأجزاء في عملها وإنتاجها لكي تمكن الخلية من انجاز الوظائف الحيوية الخاصة بها بكفاءة.

الشبكة الهيولية Endoplasmic Reticulum:

هي شبكة من الأغشية الداخلية الدقيقة المتصلة مع الغشاء النووي (أي مع النواة) من جهة وترتبط من جهة أخرى مع أجسام كولجي، وتقسم داخل الخلية إلى أجزاء وتعمل على توفير الأسطح والأماكن الخاصة لتصنيع البروتينات والدهون، أي تشارك في إنتاج البروتينات والدهون وتوفر الطريق لنقلها داخل الخلية. يتكون غشاؤها من طبقتين من الدهون الفسفورية مع البروتينات.

وتقسم إلى:

1- شبكة هيولية ملساء Smooth Endoplasmic Reticulum غير مرتبطة بها الرايبوزومات.

2- شبكة هيولية خشنة Rough Endoplasmic Reticulum مرتبطة بها الرايبوسومات.

أنواع الشبكة الهيولية – Types of Endoplasmic Reticulum

أولاً: شبكة هيولية خشنة Rough Endoplasmic Reticulum

تدعى بهذا الأسم لأن غشاؤها الخارجي يكون مرصعاً بالرايبوسومات Ribosomes (وهي مواقع تصنيع البروتينات في الخلية).

الشبكة الهيولية الخشنة تعد من أهم أجزاء الخلية لأنها موقع تصنيع ونقل البروتينات الضرورية لحيوية الخلية مثل الإنزيمات وبعض الهرمونات والبروتينات التركيبية وغيرها.

إن البروتينات المصنعة في الرايبوسومات المتصلة بغشاء الشبكة الهيولية والتي سيتم إفرازها

إلى خارج الخلية يضاف إليها بعض الأحماض الأمينية وتدعى بـ Signal Sequence ويتم إضافتها من قبل الرايبوسومات الحرة في الهيولى ثم بعد ذلك تدخل البروتينات إلى داخل الشبكة الهيولية وتنتقل عبرها إلى أجسام كولجي.

ثانياً: شبكة هيولية ملساء Smooth Endoplasmic Reticulum

هي مناطق من الشبكة الهيولية خالية من الرايبوسومات أو تحتوي عدد قليل جداً منها. إن غشاء الشبكة الملساء يحتوي إنزيمات مهمة تشارك في بناء الكاربوهيدرات والدهون وخصوصاً في الخلايا النشيطة بذلك مثلاً خلايا الخصية والأمعاء والدماغ، أما التي في الكبد فتشارك كذلك في إزالة سمية الأدوية والمواد الكيماوية الداخلة إلى الخلية. وفي الخلايا العضلية تكون الكلايكوجين.

أجسام كولجي (جهاز) Golgi Apparatus

سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم الايطالي Camillo Golgi الذي انتبه إلى أهميتها في القرن ١٩. ويزداد وجودها ونشاطها في الخلايا الغدية والخلايا النشيطة في تكوين وإفراز المواد التي تتخصص بها الخلايا.

تتكون أجسام كولجي من مجموعة من الأكياس والحويصلات المسطحة (صفائح مرصوفة بعضها فوق بعض) المترابطة والتي تربط بين الشبكة الهيولية وبين غشاء الخلية، وتعمل أجسام كولجي على إضافة بعض المواد إلى نواتج الخلية وكذلك رزم نواتج الخلية وإفرازها.

أجسام كولجي تمثل تجمع من الأغشية المسطحة تدعى Cisternae التي ترتبط مع الشبكة الهيولية من جهة وتدعى Cis face وهي تستلم المواد المصنعة في الشبكة الهيولية. وترتبط من الجهة الأخرى مع الغشاء الخلوي وتدعى هذه الجهة Trans face وهي التي من خلالها يتم إفراز هذه المواد خارج الخلية.

إن المواد التي تصل أجسام كولجي من الشبكة الهيولية يتم تحويرها أو إضافة جزيئات أخرى إليها أو حذف بعض الجزيئات منها، مثل إضافة السكريات للبروتينات لتكوين Glycoproteins أو إضافة الدهون لتكوين Glycolipids وهكذا....

كذلك يتم تكوين مواد جديدة يتم تغليفها ثم نقلها إلى الجهة التي تفرز منها Trans face إذ تطرح خارج الخلية وذلك استجابة للعديد من العوامل المنظمة لهذه النشاطات وحسب حاجة خلايا وأنسجة جسم الكائن الحي.

المتقدرات Mitochondria:

إن الفعاليات الحيوية للخلية تتطلب تجهيزاً مستمراً للطاقة وهذه الطاقة تأتي بشكل رئيسي (في الخلايا الحقيقية) من المتقدرات. إن عدد المتقدرات يختلف حسب نوع ونشاط ووظيفة الخلية، إذ يتراوح عددها من عدد قليل إلى عشرات وأحياناً بضعة آلاف، ففي الخلية الكبدية النشطة يصل عدد المتقدرات إلى حوالي ١٧٠٠ وفي الخلايا العضلية صل عددها إلى عدة آلاف.

وهي تراكيب بيضوية الشكل موجودة في الهيولى لها غشاء مزدوج، الغشاء الخارجي أملس، والداخلي يكون متعرجاً folded وهذه التعرجات أو الطيات تدعى الأعراف Cristae ويملئ تجويف المتقدرات سائل كثيف يسمى Matrix، الذي يحتوي على الإنزيمات الخاصة الفسفرة التأكسدية لإنتاج الطاقة في الخلية (تفاعلات الأكسدة والاختزال) وتتم فيها أكسدة الأحماض الدهنية والبروتينات وغيرها. كما تحتوي على نواقل الالكترونات التي تنتهي بإنتاج الطاقة على شكل مركبات ATP عن طريق أكسدة الأحماض الدهنية والبروتينات وغيرها.

كما تحتوي المتقدرات على شي مهم آخر وهو بعض المادة الوراثية DNA الخاصة بها وأنها قادرة على الانقسام الذاتي. المتقدرات تورث إلى الخلية من جهة الأم فقط (اتخذ لولدك خالاً فان الولد يخول) صدق رسول الله (صلى الله عليه وسلم)، وذلك لان المتقدرات موجودة في المنطقة الوسطى من النطفة (العنق) وليس في منطقة الرأس التي تلقح البويضة (المنطقة التي تحتوي على النواة) وهذا السبب هو الذي يجعل العديد من الأمراض الوراثية تنتقل عن طريق الأم فقط.

الجسيمات الحالة Lysosomes:

سميت بهذا الاسم لأنها تمتلك إنزيمات تحلل المواد التي تصلها سواء انت غذائية أو بقايا الخلية أو البكتيريا. إن الجسيمات الحالة هي حويصلات كروية Vesicles تكونها أجسام كولجي (تشتق من أجسام كولجي) وتحتوي على إنزيمات هاضمة تعمل على هضم المواد التي تريد الخلية التخلص منها، أي تعمل كجهاز هضمي داخل الخلية (الهضم داخل الخلية Intracellular digestion) إذ إنها تحلل العضيات القديمة في الخلية.

إن إنزيمات الجسيمات الحالة تصنع في الشبكة الهيولية الخشنة ثم تغلف في جهاز كولجي على شكل حويصلات وتنقل إلى الجسيمات الحالة. وهذه الإنزيمات تعمل بأفضل شكل في الوسط الحامضيAcidic pH .

يختلف عدد ودرج نشاط الجسيمات الحالة حسب نوع ووظيفة الخلية، فمثلاً الخلية الكبدية تحتاج عدد كبير من الجسيمات الحالة لغرض التعامل مع الكولسترول ومكونات الدم، والخلايا الدموية البيضاء تحتاج عدد كبير من الجسيمات الحالة لأنها تبتلع البكتيريا وبقايا الأنسجة وتحطمها.

إن الجسيمات الحالة التي لم تشارك بعد في عمليات الهضم الخلوي يكون وسطها حامضياً وتدعى بالجسيمات الحالة الأولية Primary Lysosomes أما الجسيمات الحالة التي شاركت في عمليات الهضم الخلوي فيتحول وسطها إلى الحامضي وتنشط أنزيماتها وتدعى بالجسيمات الحالة الثانويةSecondary Lysosomes .

الأجسام الدقيقة Microbodies:

وهي حويصلات ذات شكل كروي محاطة بغشاء فسفوري ثنائي الطبقة توجد في الهيولى قد تحتوي على دهون أو بروتينات أو إنزيمات.. الخ.

البيروكسيسومات Peroxisomes:

هي تراكيب من الأجسام الدقيقة محاطة بغشاء مفرد وتحتوي على لعديد من الإنزيمات تعمل على مساعدة الجسم على تكسير الجزيئات الكبيرة وإزالة السموم والمواد الخطرة، كما تحفز إزالة الالكترونات وذرات الهيدروجين. وهذه الإنزيمات المؤكسدة Oxidative Enzymes تعزل في أجسام خاصة دقيقةMicro bodies مثل البيروكسيسومات لكي تعطل تقطع العمليات الحيوية الأخرى في الخلية والتي تتضمن نقل الالكترونات.

إن بعض إنزيمات البيروكسيسومات تنتج بيروكسيد الهيدروجين H_2O_2 كناتج عرضي لفعاليتها، وH_2O_2 هو من أصناف الأوكسجين الفعالة الخطرة والمؤذية للخلية، لذلك فان البيروكسيسومات تحتوي على أو تمتلك نشاط كبير لإنزيم الكتاليز Catalase الذي يحول الـ H_2O_2 إلى ماء وأوكسجين. كما أن إنزيمات البيروكسيسومات تشارك في تصنيع أحماض الصفراء وهضم الدهون وايض المواد السامة.

الجسيمات المركزية Centrioles:

وهي زوج من التراكيب الاسطوانية الشكل وعادة تكون متعامدة على عضها توجد في الخلايا الحيوانية تقع قرب النواة لها علاقة بانقسام الخلية.

إن المنطقة التي تحيط هذين الزوجين من الجسيمات (تقع قرب النواة) تدعى بـ Centrosome.

وهذه الجسيمات المركزية لها دور مهم في تكوين الأسس التي تحتاجها الخلية في الانقسام.

عبور المواد عبر الأغشية الخلوية Substance Transport Across Cellular Membranes:

إن وظائف الخلية تستمر بشكل مثالي عندما تتمكن الخلية من المحافظة على تراكيز العديد من الجزيئات والايونات داخل الخلية وفي الوسط المحيط بها بشكل ثابت ومتوازن، ويتم ذلك عن طريق عدة آليا مسؤولة عن حركة هذه الجزيئات والايونات عبر الأغشية الخلوية وفي الاتجاهين.

يعرف الوسط السائل Aqueous Solution بأنه خليط من المواد الذائبة في الماء.

المواد الذائبة أو المذابة تدعى Solute (الملح).

المواد المذيبة تدعى Solvent (الماء).

– إن تركيز أي مادة في الوسط السائل يعبر عن: العدد النسبي لجزيئات أي مادة مقارنة مع العدد الكلي للجزيئات الموجودة في ذلك الوسط السائل. فعندما يكون تركيز المذاب عالياً يكون تركيز أو نسبة المذيب (الماء) قليلاً عندها يقال بان المحلول (مركز) Concentrated. وبالعكس عندما يكون تركيز المذاب قليلاً نسبة المذيب عالية يقال عندها بان المحلول (مخفف) Dilute.

وهناك وسائل مختلفة أو طرق لمرور الجزئيات والمواد عبر الغشاء الخلوي إلى داخل الخلية:

1– الانتشار Diffusion:

هو انتقال المواد من منطقة التركيز العالي إلى منطقة التركيز الواطئ إذ تمر السوائل بما تحملهُ من جزيئات كبيرة أو صغيرة متشابهة أو غير متشابهة إلى داخل الخلية. وعندما يكون هناك نوعين من الجزئيات لبعض المواد فأن هذه الجزئيات تميل إلى ان تمزج مع بعضهما البعض بواسطة عملية الانتشار (Diffusion) الذي يتم خلال الغشاء الخلوي، وهذا الانتشار يحدث لان الجزيئات تكون في حالة حركة مستمرة عشوائية، وهذا يجعل الجزيئات تتحرك من المناطق ذات التركيز العالي إلى المناطق ذات التركيز الواطئ عبر الغشاء الخلوي (يحدث نتيجة الفرق في تركيز الايونات في الغشاء الخلوي) ولا يحتاج إلى طاقة. وتستمر هذه الحركة إلى حين الوصول إلى حالة التوازن على جانبي الغشاء.

إن انتشار المواد عبر الغشاء الخلوي يتبع الفرق في التركيز في الجهتين Concentration gradient وهذا النوع من الحركة يدعى Moving down أي التحرك إلى الجهة الأقل تركيزاً من الجهة الأعلى

تركيزاً التركيز.

– وقد يكون الاختلاف في:

1– التركيز.

2– الشحنة الكهربائية.

3– الأس الهيدروجينيpH .

4– الضغط.

وكل هذه الأنواع من الاختلافات ضرورية لإدامة حياة ووظيفة الأنواع المختلفة من الخلايا.

– إن وجود الأيونات مثل Na^+ وK^+ وCl^- يحدث فرقاً في التركيز / أو في الشحنة الكهربائية على جانبي الغشاء الخلوي. وإن أيون الهيدروجين H^+ يحدث فرقاً في الـ pH، وهكذا.....

وهناك نوعين من الانتشار هما:

أ– الانتشار البسيط Simple diffuse:

هناك مواد تذوب في الماء بسهولة وبذلك يكون من السهل مرور هذه المواد عبر الغشاء الخلوي ومواد غير متشابهة ولا تختلط مثل الدهون والزيوت ومثل الهرمونات والغازات تمر أيضاً بسهولة لان الجدار المكون للغشاء الخلوي يتكون اساساً من التركيب Lipoprotein.

إن الانتشار البسيط لا يحتاج إلى طاقة، ويستمر الانتشار إلى أن يحدث التوازن في تركيز المادة على جانبي الغشاء الخلوي. وبعد ذلك فان حركة جزيئات المادة أو الايونات تستمر في الاتجاهين وبنفس النسبة لذلك يبقى تركيز المادة ثابتاً على جانبي الغشاء وتدعى هذه **الحالة بالتوازن الحيوي Dynamic equilibrium**.

ب– الانتشار الوسطي Facilitated diffusion:

يمكن للمكونات أو الجزئيات الذائبة في السوائل أن تمر عبر الغشاء الخلوي من الدخول أو الخروج إلى الخلية من التركيز الأعلى إلى التركيز الأقل ولكن بمساعدة وسيط وهي بعض الجزئيات البروتينية تحمل هذه المكونات وتسمى هذه الجزئيات بالحوامل البروتينية.

<u>العوامل المؤثرة على لانتشار:</u>

1– الفرق في التدرج التركيزي أو الكيمياوي بين جانبي الغشاء الخلوي.

2– المساحة المقطعية العرضية التي يحدث خلالها الانتشار.

3- الفرق في الشحنة الكهربائية للأيونات، إذ إن الشحنات الموجبة تتحرك إلى جهة الغشاء الأكثر سالبيه، وبالعكس بالنسبة للأيونات ذا الشحنة السالبة.

2- النفوذية (التنافذ) Osmosis:

يجب أن تنظم الخلية عملية دخول وخروج الماء ومستوياته. فإذا استمر دخول الماء فان الخلية سوف تنتفخ، أما إذا استمر مغادرة الماء للخلية فان الخلية سوف تنكمش، وكلا الحالتين تؤثر سلباً على وظيفة الخلية.

- إن حركة الماء عبر الأغشية الخلوية بواسطة الانتشار البسيط تدعى: النفوذية (التنافذ) Osmosis. وإن تركيز المواد المذابة داخل وخارج الخلية هو الذي يحدد اتجاه ودرجة (مستوى) حركة الماء عبر الأغشية الخلوية.

فإذا كان هنالك اختلاف في تركيز المذاب Solutes بين حجرتين يفصلهما غشاء شبه ناضح Semipermeable Membrane (يسمح بمرور الماء ولا يسمح بمرور جزيئات المذاب) فان الماء سيتحرك من الحجرة ذات التركيز الواطئ إلى الحجرة ذات التركيز العالي عبر الغشاء.

إن ارتفاع تركيز المذاب في السائل (الماء) يعمل على خفض الجهد الكيمياوي للماء Chemical potential وعادة الماء يميل إلى الحركة من المناطق التي يكون جهده الكيمياوي عالياً فيها إلى المناطق التي يكون جهده الكيمياوي قليلاً فيها.

الضغط التنافذي Osmotic pressure:

هو القوة التي بواسطتها يتحرك المذيب (الماء) من المناطق (المحاليل) ذات التركيز الواطئ إلى المناطق (المحاليل) ذات التركيز العالي عندما تكون هاتين المنطقتين مفصولة بغشاء شبه ناضح.

2- تأثير دونان (Donnan Effect) / أو توازن جبس – دونان (Gibbs – Donnan) (Equilibrium

إذا افترضنا وجود غشاء يفصل حجرتين، الحجرة الأولى B تحتوي محلول KCl والحجرة الثانية A تحتوي محلول KY وعندما يكون Y أيون لا يمكنه النفاذ عبر الغشاء، في حين أن الغشاء نفاذ للماء وايونات K^+ و Cl^-.

وحسب الفرق في الجهد التركيزي فان: أيونات Cl^- سوف تنتقل من B إلى A. وهذا يرفع عدد الشحنات السالبة في A (حصول فرق جهد كهربائي). لذلك فإن :

ايونات K^+ سوف تتبعها وتتحرك من B إلى A لأجل معادلة الشحنة الكهربائية في جانبي الغشاء electrical neutrality وعند التعادل (الوصول إلى درجة التعادل) يكون تركيز الايونات الناضحة (المنتشرة) متساوياً على الجانبين:

$$[K^+] A [Cl^-] A = [K^+] B [Cl^-] B$$

لكن نظراً لوجود أيونات Y^- في [A] والتي لا يمكنها الانتشار عبر الغشاء، فعند الوصول إلى حالة التوازن أو التعادل يكون الجانب (الحجرة) A محتوياً على عدد من أيونات Y^- أكبر مما يحتويه الجانب B. إن وجود هذه الظاهرة وحدوثها في الخلايا والأغشية الخلوية الحية يساعد في انجاز العديد من الفعاليات الحيوية المتضمنة حركة المواد عبر هذه الأغشية.

3- الترشيح Filtration

هي العملية التي بواسطتها تترشح جزيئات المذاب التي قطرها أقل من قطر فتحات (ثغور) الغشاء الخلوي نتيجة لوجود فرق في الضغط الهايدروستاتيكي (ضغط السوائل) على جانبي الغشاء. إن عملية الترشيح مسؤولة عن المحافظة على توازن السوائل بين الأوعية الدموية Intravascular fluid وبين المنطقة البينية للخلايا Interstitial fluid.

إن الجزيئات التي قطرها اقل من قطر ثغور الغشاء الخلوي تترشح بسرعة وتعتمد أساساً على ضغط الترشيح الفعال والذي يعبر عنه كما يلي:

ضغط الترشيح الفعال= (الضغط الهايدروستاتيكي للدم + الضغط التناضحي النسيجي) – (الضغط التناضحي للبلازما + الضغط الهايدروستاتيكي النسيجي).

ضغط الترشيح الفعال (النهاية الشريانية) = (35+ 4) – (28 + 1) = + 10 ملم زئبقي. (وبهذا تترشح المواد الغذائية من الدم إلى الأنسجة)

ضغط الترشيح الفعال (النهاية الوريدية) = (15 + 4) – (28 + 1) = + 10 ملم زئبقي. (وبهذا تعود فضلات الايض من الأنسجة وتدخل إلى الأوعية الدموية)

4- البروتينات الناقلة Transport Proteins

يمكن للأيونات والجزيئات المستقطبة من الانتشار عبر الغشاء، لكن هذه المواد من الممكن أن تعبر الغشاء الخلوي بمساعدة العديد من بروتينات الغشاء الخلوي، وهذه البروتينات تكون على ثلاثة أشكال:

1- قنوات Channels.

2- نواقل Carries.

3- مضخات Pumps.

أ- الانتقال عبر القنوات Channel Transport:

إن البروتينات تشكل ما يشبه الأنبوب البسيط خلال سمك الغشاء الخلوي وله فتحة يمر من خلالها المذاب، إن حجم فتحة القنوات الشحنة التي تبطن القناة هي التي تحدد نوع الأيون أو الجزيئة التي تمر عبر هذه القناة. وإن بعض هذه القنوات لها عند مدخلها ما يشبه البوابة gate like تنظم جريان وعبور الايونات خلالها. إن النقل عبر القنوات سريع جداً إذ إن 100 مليون أيون أو جزيئة تمر كل ثانية ويعتبر هذا النقل من أنواع الانتشار الميسر Facilitated transport.

ب- الانتقال بواسطة حامل Carrier Mediated Transport:

إن البروتين الناقل يرتبط مع الأيون أو الجزئية بشك يسهل نقله إلى الجهة الأخرى من الغشاء الخلوي. إن هذا النوع من أنواع الانتشار الميسر لا يحتاج إلى طاقة..... (من تركيز عالي إلى مناطق التركيز الواطئ).

جـ- النقل بواسطة المضخات (النقل الفعال) Transport by Pumps (Active Transport):

عندما يكون الانتقال من المناطق ذات التركيز الواطئ إلى ذات التركيز العالي (عكس التدرج التركيزي) فإن هذا الانتقال للأيونات أو الجزيئات يحتاج إلى طاقة، وهذه الطاقة تأتي من جزيئات

ATP، وتستخدم هذه البروتينات (التي تعمل كمضخات أيونية في الغشاء الخلوي) هذه الطاقة (تمتلك نشاطاً إنزيمياً محللاً لـ ATP) لغرض نقل الأيونات والجزيئات عكس التدرج التركيزي. فمثلاً اليود في الغدة الدرقية 400 ضعف ما موجود تركيزهُ في الدم فسوف ينتقل اليود من الدم إلى الغدة الدرقية مثال: مضخة مضخات الصوديوم–بوتاسيوم $Na^+ - K^+$ أهم ماموجود في كل الميكانيكيات التي تنتقل عبر غشاء الخلية

إن كل من: الانتشار البسيط والنقل عبر القنوات والنقل بواسطة حامل تعتبر من أنواع الانتشار الميسر Facilitated diffusions لأنها لا تحتاج إلى طاقة.

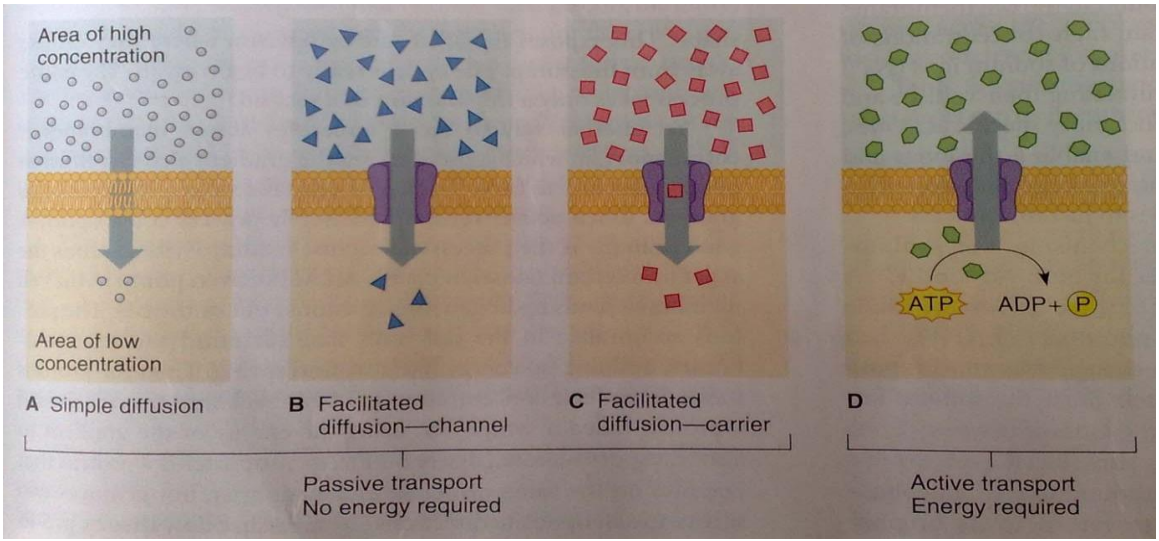
أما النقل بواسطة المضخات (بروتينات إنزيمية في الغشاء الخلوي) فيعتبر من أنواع النقل الفعال Active Transport لأنه يحتاج إلى طاقة.

مضخة الصوديوم – البوتاسيوم $Na^+ - K^+$ Pump: ($Na^+ - K^+$ ATP)

وهي عبارة عن إنزيم موجود في الغشاء الخلوي له القابلية على تحليل ATP واستخدام الطاقة الناتجة لإخراج أيونات صوديوم إلى خارج الخلية وإدخال 2 أيون بوتاسيوم إلى الخلية.

تتكون هذه المضخة (بروتين) من وحدتي– ألفا (α) ووحدتي بيتا (β) ولها مواقع ارتباط لـ ATP و$Na^+ - K^+$.

إن ارتباط (ثلاث أيونات Na^+) يعمل على إطلاق الطاقة من الـ ATP (الآصرة الفوسفاتية الأخيرة) التي ترتبط مع الإنزيم (البروتين) وتغير شكله بحيث يسهل إطلاق أيونات Na^+ إلى الخارج، ثم يرتبط أيوني K^+الذي يعمل على فك الفوسفات من الإنزيم الذي يتغير شكله بحيث يسهل إدخال أيوني K^+وإطلاقها داخل الخلية.



فوائد مضخة الصوديوم – البوتاسيوم $Na^+ - K^+$ Pump

1- تعمل الخلايا على اخراج ودخول الماء والمحافظة على تراكيز الصوديوم وإذا ما توقفت الخلية ثواني تنفجر الخلية.
2- تحتاج الإنزيمات إلى عنصر البوتاسيوم اللازم لعملها وهذا يتوقف إذا توقفت المضخة.
3- ارتفاع البوتاسيوم وقلة الصوديوم يعمل على توفير الأساس الكهربائي وتهيج الخلايا وخاصة العصبية.
4- دخول الصوديوم إلى داخل الخلية يعتبر مصدر لإدامة عمليات النقل الفعال كما يحدث عند دخول الحوامض الامينية داخل الخلايا.
5- أن الخلايا الطلائية تحتوي على عدد كبير من مضخات الصوديوم من جهة واحدة من غشاءها أكثر من الجهة الأخرى لذا يعمل الماء على دخول وخروج الكلور بطريقة الانتقال الموجب (غير الفعال) والتي لا تحتاج إلى طاقة وهذا أساس في نقل السوائل داخل الخلية.

حركة ونقل الجزيئات الكبيرة عبر لغشاء الخلوي Bulk Passage into and Out of The Cell

إن طبيعة وتركيب الغشاء الخلوي (طبقتي الدهون الفسفورية) والقنوات والمضخات الأيونية لا تكفي لإدخال كل ما تحتاجه الخلية وذلك لكبر الحجم في معظم الأحيان وكذلك لا يمكنها أن تخرج بعض نواتج الخلية مثل الهرمونات والنواقل العصبية أيضاً لكبر الحجم.

لذا هنالك عمليات أخرى يتم عبرها انجاز حركة ونقل بقية الجزيئات عبر الغشاء منها:

الابتلاع الخلوي Endocytosis:

وهي عملية إدخال المواد إلى داخل الخلية سواء المواد التي تحتاجها الخلية للبناء وإنتاج الطاقة أو مواد

ضارة يراد للتخلص منها كما يحدث عند ابتلاع البكتيريا من قبل خلايا الدم البيض.

تتم هذه العملية من خلال غشاء الخلية الذي يغلف ويحيط الجزيئات بغلاف لتصبح على شكل حويصلة Vesicle ثم ينبعج الغشاء الخلوي ويدخلها إلى داخل الخلية.

الأكل الخلوي Phagocytosis:

هي عملية تناول بعض المواد أو الجزئيات الصلبة الكبيرة ودخولها إلى داخل الخلية خلال الغشاء الخلوي وعملية تناول هذه الحبيبات أو الجزئيات الكبيرة من المواد داخل الخلية تدعى بالأكل الخلوي.

الشرب الخلوي Pinocytosis:

هي عملية تناول أو إدخال المواد السائلة أو أخذ أماكنها داخل الخلية خلال الغشاء الخلوي. إن الابتلاع الخلوي يختلف حسب نوع ووظيفة الخلية. على سبيل المثال فان بعض أنواع خلايا الدم البيض تبتلع ما يعادل ٢٥% من حجمها كل ساعة.

الابتلاع الخلوي بمساعدة المستقبلات Receptor – Mediated Endocytosis:

إن بعض الجزيئات تدخل إلى الخلية من خلال آلية تعمل بمساعدة مستقبلات خاصة، هذه المستقبلات الموجودة في الغشاء الخلوي تتخصص لمسك الجزيئات التي يلائم شكلها مواقع المستقبل (Key and Lock)، إن هذه المستقبلات تقع في تقعرات خاصة في الغشاء الخلوي Pits وتغلف هذه التقعرات ببروتين يدعى Clathrin، إن كل تقعر يعمل كمصيدة للجزيئات الملائمة وعندما يمسكها ينبعج إلى الداخل ويغلفها على شكل حويصلة ثم تطلق الحويصلة داخل الخلية، ومن الأمثلة على هذه الآلية: إدخال الـ LDL – C إلى الخلية لغرض الحصول على الكولسترول.

التقيؤ الخلوي Exocytosis:

وهي عملية نقل المواد من داخل الخلية إلى خارجها. ففي الخلية يتم عمل حويصلة Vesicle مغلفة بالدهون الفسفورية تحيط بالمواد المراد إفرازها، ثم تتحرك الحويصلة إلى الغشاء الخلوي وتتحد معه

ثم تنبعج وتطرح محتوياتها خارجه.

إن خلية النطفة تستخدم هذه الآلية لإفراز الإنزيمات المحللة من رأس النطفة والتي تساعد خلية النطفة الصغيرة على اختراق البويضة الأكبر حجماً أثناء الإخصاب.

كذلك فان إفراز بعض الهرمونات يكون بهذه الطريقة. وكذلك إفراز النواقل العصبية Neurotransmitters من النهايات العصبية. وإفراز مكونات الحليب مثل الدهن والبروتين.

النقل الفعال Active Transport

هو النقل الذي يستعمل خلاله الطاقة سواء الكيمياوية من خلال التحلل المائي لجزيئات ATP أو أي فرق في الجهد الكهربائي – الكيمياوي والاستفادة من ذلك في إدخال أو إخراج الأيونات أو الجزيئات من أو إلى الخلية.

النقل الفعال الأساسي (الرئيس) Primary Active Transport

وهو النقل الذي ينجز من خلال مضخات بروتينية (إنزيمات) في غشاء الخلية لها القابلية على تحليل الـ ATP والاستفادة من الطاقة الناتجة للنقل، ومن الأمثلة عليها: مضخة الـ $Na^+ - K^+$.

النقل الفعال الثانوي Secondary Active Transport

في هذا النوع من النقل يستخدم فرق الجهد الكهربائي – الكيمياوي Electrochemical gradient عبر الغشاء الخلوي لنقل الايونات من المناطق ات التركيز العالي إلى المناطق ذات التركيز الواطئ (Downhill) ويرافق ذلك نقل المذاب (الجزيئات الأخرى) معها عكس التدرج التركيزي أي من المناطق ذات التركيز الواطئ إلى ذات التركيز العالي (Uphill).

إن الناقل الذي يقوم بإنجاز عملية النقل الفعال الثانوي يمتلك موقع ارتباط:

الموقع الأول يكون على الأغلب خاص لربط أيون الصوديوم والموقع الثاني خاص للجزيئة المراد نقلها.

وعندما يكون نقل الـ Na^+ والجزيئة الأخرى (حامض أميني مثلاً) في نفس الاتجاه يدعى هذا النوع من النقل: النقل المشترك Co transport أو Symport.

أما عندما يكون نقل الـ Na^+ والجزيئة الأخرى متعاكساً (إدخال ايون الـ Na^+ إلى الخلية وإخراج الجزيئة الأخرى من الخلية) عير نفس الناقل عندها يدعى هذا النوع من النقل: النقل المتعاكس Counter transport أو Antiport.

التنفس الخلوي وإنتاج الطاقة: Cellular Respiration and Energy Production

عند حرمان الكائن الحي من الطاقة تتوقف حياته، ومن هنا يمكن دراسة الحياة دون التعرف على مصادر الطاقة وآليات إنتاجها وسبل استخدامها من قبل الكائنات الحية.

الطاقة Energy

الطاقة تعرف بأنها القدرة على أداء عمل. والطاقة يمكن أن تأخذ عدة أشكال مثل الطاقة الميكانيكية، الحرارية، الصوت، الكهربائية، الضوئية، وغيرها. والطاقة تقاس وتقدر بوحدات تدعى السعرة Calorie ويرمز لها بـ (Cal): وهي الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة .

وعادة تستعمل في الحساب وحدات أكبر هي كيلو سعرة Kilocalorie (Kcal) وتساوي ١٠٠٠ سعرة .

وهنالك وحدات أخرى تستخدم أحياناً (في علوم الفيزياء) تدعى بالجول Joule وتساوي ٢٣٩ ,سعرة .

الشمس: هي المصدر الرئيس والأساسي للطاقة في الكون .

النباتات والطحالب algae وبعض البكتريا تحصل على الطاقة من أشعة الشمس ومن خلال عملية التركيب الضوئي Photosynthesis حيث تحولها إلى طاقة كيمياوية ممثلة بـ ATP لغرض انجاز وظائفها الحيوية، هذه الكائنات تسمى: Autotrophs (self-feeders) المعتمدة على نفسها أو ذاتية التغذية).

الكائنات الأخرى تستخدم الطاقة التي تنتجها الكائنات التي تسمى Autotrophs وتستخدمها كغذاء لها ولذلك تدعى هذه الكائنات Heterotrophs (Fed by others) المعتمدة على غيرها في تغذيتها. إن مايقارب من ٩٥% من الكائنات على الأرض هي من نوع الـ Hetrotophs.

إن الغذاء يحتوي على الكاربوهيدرات والبروتينات والدهون الغنية بالأواصر الكيمياوية الغنية بالطاقة، هذه الأغذية تمتلك أواصر (C-H) و(C-O) ويتم هدم هذه الأغذية لإنتاج الطاقة اللازمة للأفعال الحيوية للجسم منها.

التنفس الخلوي Cellular Respiration

إن الطاقة الموجودة في الأواصر الكيمياوية تأتي من طاقة الجهد (energy) للالكترونات التي تكون الأواصر. إن الخلية تحصل على الطاقة من خلال كسر هذه الأواصر وتحويل الالكترونات من جزيئة إلى جزيئة أخرى، وخلال انتقال الالكترونات هذا فان الالكترونات تخسر أو تفقد قسم من طاقتها، إن قسم من هذه الطاقة يتم خزنها ووضعها في جزيئات غنية بالطاقة (ATP) والقسم الآخر يفقد على شكل حرارة (Heat). وفي نهاية هذه العملية فان الالكترونات تنتقل إلى الجزيئة التي تستقبلها Electron acceptor.

- عندما تكون الجزيئة التي تستقبل الالكترونات هي الأوكسجين، فإن العملية تدعى Aerobic respiration (التنفس الهوائي).
- وعندما تنتقل الالكترونات إلى جزيئة غير عضوية (غير الأوكسجين) فان العملية تدعى Anaerobic respiration (التنفس اللاهوائي).
- وعندما تنتقل الالكترونات إلى جزيئة عضوية، فان العملية تدعى التخمر Fermentation.

جزيئة الأدينوسين ثلاثي الفوسفات Adenosine Triphosphate (ATP):

تعتبر ATP جزيئة الطاقة الرئيسة في الخلايا وتقوم بتجهيز الخلية بالطاقة اللازمة لأداء الفعاليات الحيوية.

- تتكون ATP من سكر خماسي (Ribose) وقاعدة نيتروجينية عضوية (Adenine) وسلسلة من 3

مجاميع فوسفاتية (3 Triphosphate groups).

كيف تخزن جزيئة الـ ATP الطاقة؟؟

إن المجاميع الفوسفاتية تمتلك شحنة سالبة، وهذه الشحنات تتنافر مع بعضها مما يجعل مجاميع الفوسفات المترابطة تتدافع مع بعضها البعض، وهذا يجهد الأواصر التي تربطها، وهكذا فان مجاميع الفوسفات المترابطة تخزن الطاقة القادمة أو الناتجة من تنافر الشحنات الكهربائي الساكنة في الأواصر التي تربط المجاميع الفوسفاتية.

– إن نقل جزيئة فوسفات من ATP إلى أي جزيئة أخرى يرخي أو يقلل من الشد الكهربائي لـ ATP وفي نفس الوقت يشحن الجزيئة التي استلمت مجموعة الفوسفات وتصبح Phosphorylated.

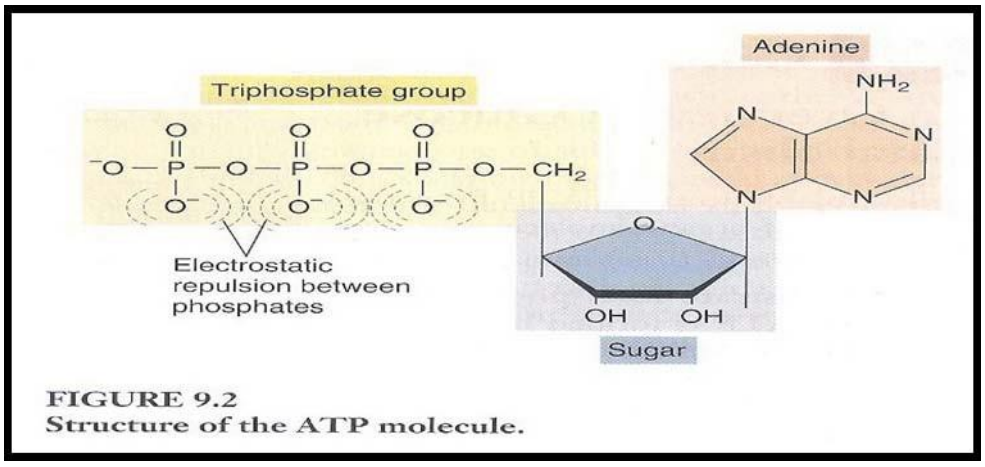


FIGURE 9.2
Structure of the ATP molecule.

– وعلى الرغم من أن كميات قليلة من الـ ATP تنتج من هدم الإنزيمات للكاربوهيدرات والدهون بشكل مباشر من خلال الاستفادة من الطاقة المخزونة في أواصر المواد الخاضعة للتفاعل (الدهون والكاربوهيدرات) إلا أن معظم الـ ATP التي تتكون والتي تعتبر أهم متطلبات الخلية لأداء فعالياتها الحيوية، يتم تصنيعه بمساعدة إنزيم ATP synthase الذي يعتبر واحداً من أهم الإنزيمات في الأنظمة الحيوية.

كيف تعمل الـ ATP على دفع التفاعلات المحتاجة للطاقة؟؟؟ How ATP Drives endergonic Reactions?

إن الإنزيمات التي تحفز التفاعلات المحتاجة للطاقة تمتلك موقعين على سطحها، أحدها لربط المادة المتفاعلة، والآخر لربط الـ ATP. إن موقع الإنزيم الخاص بربط الـ ATP يحلل جزيئة الـ ATP ويطلق

آصرة فوسفاتية غنية بالطاقة وبذلك يحرر 7 كيلو سعرة من الطاقة الكيمياوية (7 kilocalories) التي تستخدم هذه الطاقة لدفع (المواد المتفاعلة) على الموقع الثاني للإنزيم، إلى انجاز التفاعل (Uphill).

أكسدة المواد الغذائية في الخلية لإنتاج الطاقة

إن الخلايا تنتج الـ ATP من خلال هدم الجزيئات العضوية وذلك بطريقتين:

1- الفسفرة على مستوى المواد Substrate – Level Phosphorylation:

ويتم ذلك من خلال نقل مجموعة الفوسفات من المواد الوسطية الداخلة في التفاعل مباشرة إلى جزيئة ADP لتكوين الـ ATP ويحدث مثل هذا خلال التحلل اللاهوائي للكلوكوز Glycolysis حيث تنتقل الأواصر الكيمياوية للكلوكوز في التفاعلات لتجهز الطاقة اللازمة لبناء الـATP .

2- التنفس الهوائيAerobic Respiration:

يتكون معظم الـ ATP الخلية بهذه الطريقة، بواسطة إنزيم synthase ATP الذي يستخدم فرق جهد البروتونات الناتج من انتقال الالكترونات على الحوامل وصولاً إلى اختزال الأوكسجين O_2 لتكوين الماء.

- وفي معظم الكائنات الحية فان هاتين الآليتين تعملان معاً بالتعاقب. ولغرض الحصول على طاقة من جزئية الكلوكوز بوجود الأوكسجين فان الخلية تنجز العديد من التفاعلات وذلك بوجود 4 مراحل:

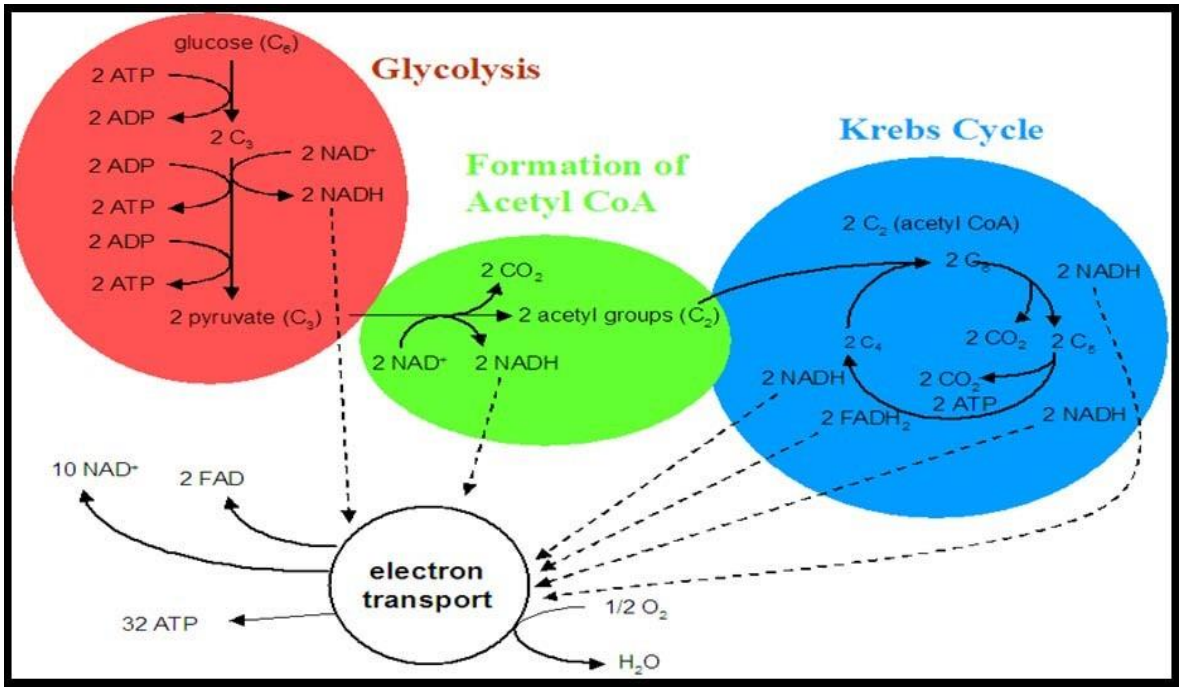
التنفس اللاهوائي Glycolysis

1- المرحلة الأولى Stage One:

تتضمن هذه المرحلة استخلاص الطاقة من جزيئة الكلوكوز خلال سلسلة من التفاعلات (١٠ خطوات) تحول الكلوكوز إلى جزيئتين بيروفيت Pyruvate 2، وإن الإنزيمات المسؤولة عن هذه المرحلة توجد في الهيولي Cytoplasm.

إن الحصيلة النهائية لهذه المرحلة (الفسفرة على مستوى المواد) هي ATP 2 ، إضافة إلى إلكترونات محمولة على المرافق الإنزيمي NADH ($2\ NADH + H^+$) والتي سوف تستخدم في إنتاج الطاقة لاحقاً في المراحل التالية.

إن جزيئتي البيروفيت Pyruvate لا تزال تمتلك وتحتوي على معظم طاقة جزيئة الكلوكوز.



التنفس الهوائي Aerobic Respiration

2- المرحلة الثانية Stage Two (أكسدة البيروفيت Pyruvate Oxidation):

في هذه المرحل فإن البيروفيت Pyruvate (الناتج النهائي للتنفس اللاهوائي في المرحلة الأولى) يتحول إلى CO_2 وجزيئة من ذرتي كاربون هي Acetyl Co. A ويرافق هذه العملية انتقال إلكترونين إلى المرافق الإنزيمي $NADH + H^+$ والتي تستخدم لإنتاج الطاقة في المراحل اللاحقة.

3- المرحلة الثالثة Stage Three (Krebs cycle):

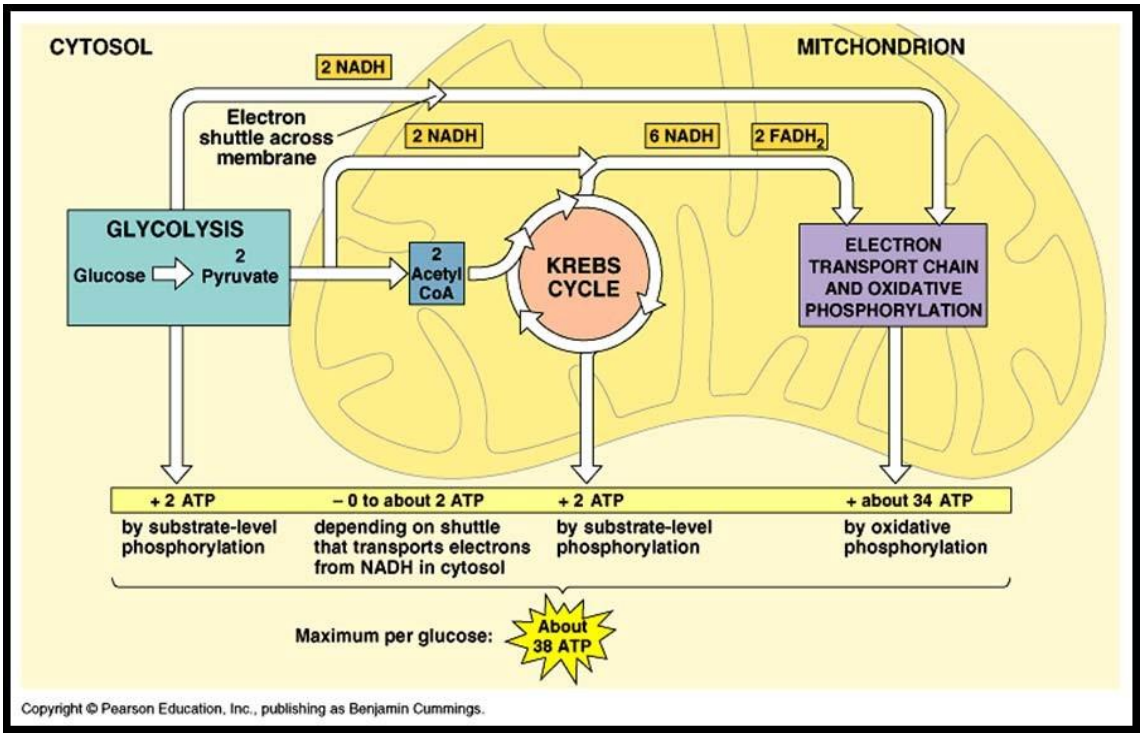
تتضمن هذه المحلة دخول Acetyl Co. A في سلسلة من التفاعلات (9 مراحل) في داخل المتقدرات Mitochondria Matrix ويرافق ذلك إنتاج ATP من خلال (الفسفرة على مستوى المواد) وكذلك إنتاج ونقل الالكترونات إلى المرافق الإنزيمي NAD^+ لتكوين $NADH + H^+$ (3 جزيئات)، وكذلك نقل الالكترونات إلى المرافق الإنزيمي FAD لتكوين $FADH_2$ (جزئية).

وهذه سوف ستستخدم لاحقا لإنتاج الطاقة عبر نقل الالكترونات على الحوامل وصولاً إلى اختزال الأوكسجين الجزيئي لتكوين الماء وإنتاج الطاقة.

4- المرحلة الرابعة Stage Four: (سلسلة نقل الإلكترونات The Electron Transport Chain)

تتم هذه المرحلة من خلال سلسلة من المرافقات الإنزيمية والحوامل التي توجد في الغشاء الداخلي للمتقدرات، حيث يتم نقل الالكترونات من حامل إلى آخر والاستفادة من هذه الالكترونات لضخ البروتونات عبر غشاء المتقدرات (إلى المنطقة البينية: بين الغشاءين) ويتم الاستفادة من فرق جهد الالكترونات هذا Proton gradient من قبل إنزيم ATP Synthase لبناء ATP من ADP.

في هذه المرحلة الرابعة يتم عادة تزاوج عمليتي نقل الالكترونات مع فسفرة ADP لتكوين ATP واختزال الأوكسجين إلى الماء لذلك تدعى العملية أيضاً: الفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation.



التركيب الكيمياوي للمواد الداخلة في تركيب الخلية: Chemical Structure of Cell

تتألف المادة الحية للخلية من الكثير من العناصر التي قد تصل إلى ٩٠ عنصراً كيمياوي أو أكثر

ويشكل الأوكسجين والهيدروجين والكاربون والنتروجين ما يقارب ٩٥ %من كتلة الكائنات الحية وحوالي 5% للعناصر الأخرى .تتألف المادة الحية من ماء وأملاح وبروتينات ودهون وكاربوهيدرات وأحماض نووية ومواد لا عضوية، وإن خلايا الجسم المختلفة تتشابه عادة في المواد الداخلة في تركيبها من حيث النوعية إلا أنها تختلف من الناحية الكمية حسب نوع ووظيفة الخلية.

أولاً: الماء Water

يكون الماء الجزء الأكبر من تركيب الخلايا وتختلف نسبته حسب نوع الخلايا، إذ تتراوح بين ٦٠ – ٩٥% من المادة الحية وقد يكون الماء حراً، إذ يعمل وسطاً للتفاعلات ومذيباً للمواد، أو يكون مرتبطاً بروابط هيدروجينية كما في الأحماض النووية والبروتينات.

ثانياً: الأملاح Salts (الأيونات أو الشوارد Inos):

توجد في كل الخلايا، ويكون مصدرها عضوياً أو عضوياً وتتحول إلى شوارد (ايونات) مثل NO_3^{-2}، Mg^{+}، Ca^{+}، Cl^{+}، K^{+}، Na^{+}، PO_4^{-3} وهذه الأملاح والشوارد مهمة في وظيفة الخلية إذ تشارك في نقل التنبيه العصبي من خلال دورها في تنظيم شحنة الغشاء ونقل جهد الفعل، وكذلك النقل الفعال عبر غشاء الخلية، كما تشارك بدور مهم كدارئات Buffers لتثبيت pH البيئة الداخلية.

ثالثاً: الأحماض الأمينية والببتيدات البروتينات:

وتدعى هذه المواد مجتمعة بالبروتيدات Protides.

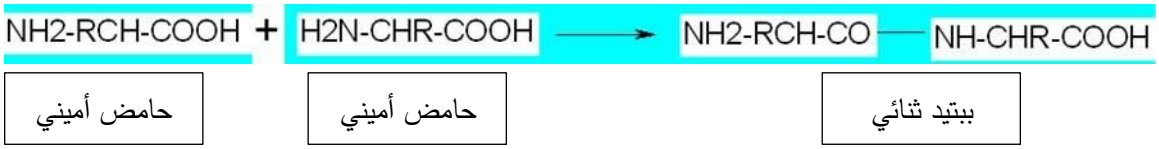
R-CH-COOH
|
NH2

الأحماض الأمينية: تمتلك الصيغة الآتية:

تختلف المجموعة الجانبية R حسب نوع الحامض الأميني، فقد تكون H كما في الكلايسين أو CH_3 كما في الألنين، وهكذا حسب نوع الحامض الأميني. يوجد في البروتينات العديد من أنواع الأحماض الأمينية، وبشكل عام يوجد 20 حامض أميني ويحصل في الجسم تحويرات وإضافات لبعضها عند تكوين البروتينات.

الببتيدات: عدد قليل من الأحماض الأمينية ترتبط مع بعضها البعض بروابط ببتيدية، إذ ترتبط مجموعة

الكاربوكسيل من الحامض الأميني الأول مع مجموعة الأمين من الحامض الأميني الثاني وهكذا...



البروتينات:

سلسلة طويلة من الأحماض الأمينية أو عدة سلاسل ببتيدية ترتبط وتتشكل لتكون البروتينات. وأحياناً ترتبط مع مجاميع كاربوهيدراتية لتشكل البروتينات السكرية Glycoproteins أو مع الدهون لتشكل البروتينات الدهنية Lipoproteins.

والبروتينات في الخلية تكون عدة أنواع:

1- بروتينات تركيبية: تدخل في تركيب الخلية.

2- بروتينات وظيفية:

أ- إنزيمات. ب- مستقبلات. جـ- قنوات أيونية. د- نواقل (حوامل).

هـ- بعض الهرمونات (الهرمونات الببتيدية).

رابعاً: الدهون (الشحوم) Lipids:

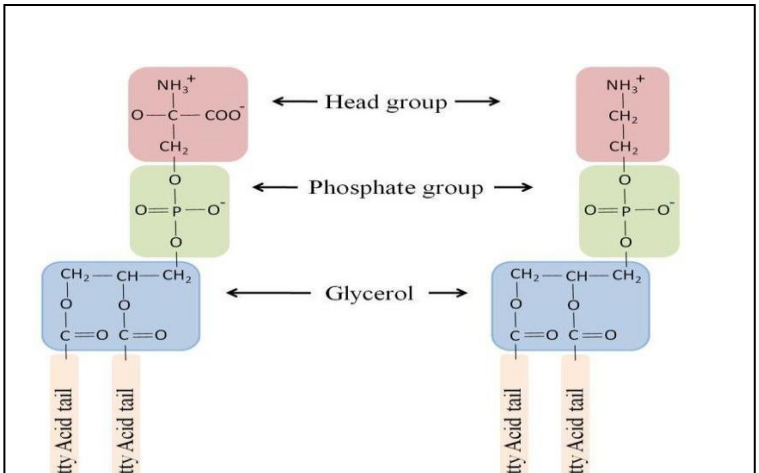
هي مجموعة محدودة من الجزيئات تمتلك خاصية عامة مشتركة، وهي غير ذائبة في الوسط المائي.

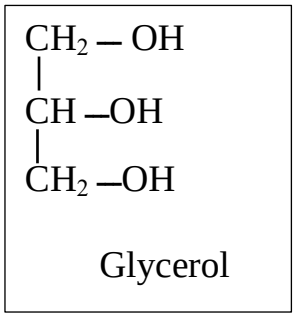
والشحوم على نوعين رئيسين هما:

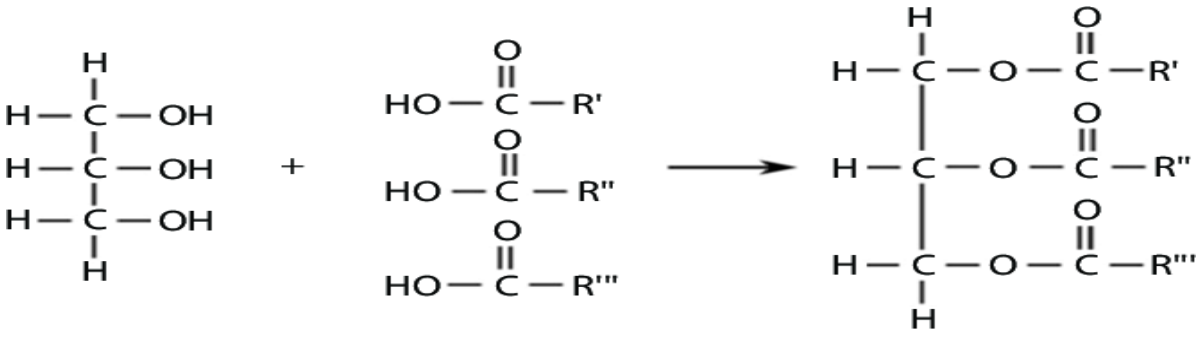
1- الدهن Fat

2- الزيت Oil.

وتمتلك الشحوم عدد كبير من أواصر C – H غير القطبية non-polar التي لا يمكن أن تخفيها (لأنها لا تطوى كما تطوى سلاسل الببتيدات في البروتين)، وبدلاً من ذلك فعندما توضع الدهون في الوسط المائي فإنها تتجمع جزيئاتها معاً وتظهر الأجزاء القطبية hydrophilic إلى الخارج في حين تدفع الأجزاء غير القطبية لتنحشر في الداخل بعيداً عن الوسط المائي، وإن هذا الترتيب لجزيئات الدهن مهم لإعطاء العديد من الخواص المهمة للتراكيب التي يشارك الدهن في تركيبها مثل الغشاء الخلوي.

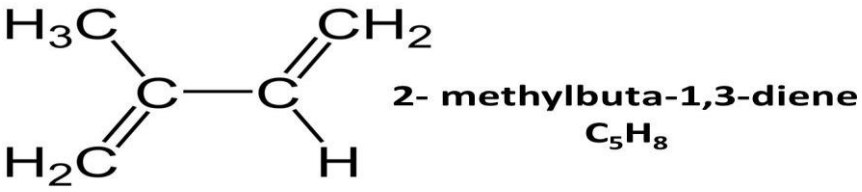






Terpene Structure

- Terpenes are unsaturated compounds formed by joining together isoprene units



- والدهون بشكل عام تكون على عدة أشكال وتؤدي وظائف مختلفة.

Lipids	Components	Function
Fats	Glycerol and three fatty acids	Energy storage

Phospholipids	Glycerol and two fatty acids and phosphate group	Cell membrane
Prostaglandins	Five carbon rings with two non polar tails	Chemical messengers
Steroids	Four fused carbon rings	Hormones, Cell membrane
Terpenes	Long carbon chains	Pigments, Structural

خامساً: الأحماض النووية Nucleic Acids

إن النشاطات الحيوية للخلية تعتمد على إنتاج عدد كبير مصنوع من البروتينات التي يتميز كل منها بتركيب خاص (ووظيفة خاصة)، وإن قابلية إنتاج هذه الأنواع من البروتينات تنتقل بين الأجيال على الرغم من أن جزيئات البروتين نفسها لا تنتقل.

إن الأحماض النووية هي وسيلة خزن المعلومات الوراثية في الخلية، وهنالك نوعين من الأحماض النووية:

(1) الحامض النووي الرايبوزي منقوص الأوكسجين Deoxyribonucleic acid DNA

(2) الحامض النووي الرايبوزي Ribonucleic acid RNA

إن الـ DNA يحتوي على المعلومات التي تستخدم لصنع البروتينات، لذلك تتميز بخاصية فريدة وهي أنها تعتبر كقالب لاستنساخ نفسها (سلاسل جديدة من DNA) وبذلك يمكن أن تنتقل هذه المعلومات الوراثية إلى الجيل اللاحق من الخلايا (الكائنات الحية)، لذلك يطلق عادة على DNA بأنه: المادة الوراثية، وان الخلايا تستعمل نوعاً آخر من الأحماض النووية وهو RNA لقراءة المعلومات الوراثية المسجلة على DNA وترجمتها إلى بروتينات.

إن الـ RNA يستنسخ من خلال استعمال إحدى سلاسل DNA كقالب لتكوين RNA وان هذا الـ RNA ينتقل إلى الهيولى، إذ يشارك في بناء البروتينات.

سادساً: الكاربوهيدرات Carbohydrate +

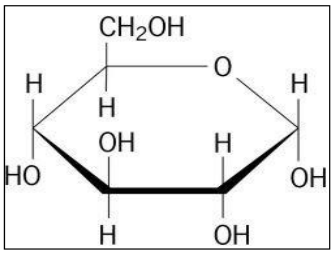
الكاربوهيدرات مجموعة من الجزيئات التي تحتوي على الكاربون C والهيدروجين H والأوكسجين O_2 بالنسب 1:2:1 ويعبر عنها بالصيغة الآتية: $(CH_2O)n$، إذ إن n = عدد ذرات الكاربون، لان الكاربوهيدرات تحتوي العديد من أواصر (C - H) التي تنتج وتعطي الطاقة عندما تؤكسد، لذلك تعتبر

الكاربوهيدرات من المصادر المهمة للطاقة. ومن أهم جزيئات الكاربوهيدرات المنتجة (المولدة) للطاقة هي السكريات Sugars، والتي توجد بإشكال مختلف:

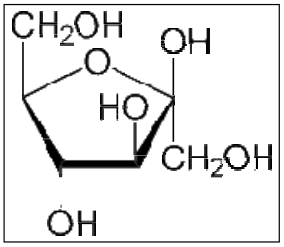
1- السكريات الأحادية: Monosaccharide

وهي ابسط أنواع السكريات، وابسط أنواعها يتكون من 3 ذرات كاربون، لكن معظمها وخصوصاً المهمة في إنتاج الطاقة تكون ذات 6 ذرات كاربون وصيغته $(CH_2O)_6$ أو $C_6H_{12}O_6$.

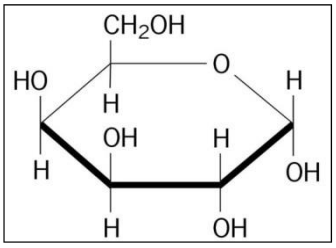
أمثلة/



α-D- glucose كلوكوز



فركتوز



α-d- galactose كالاكتوز

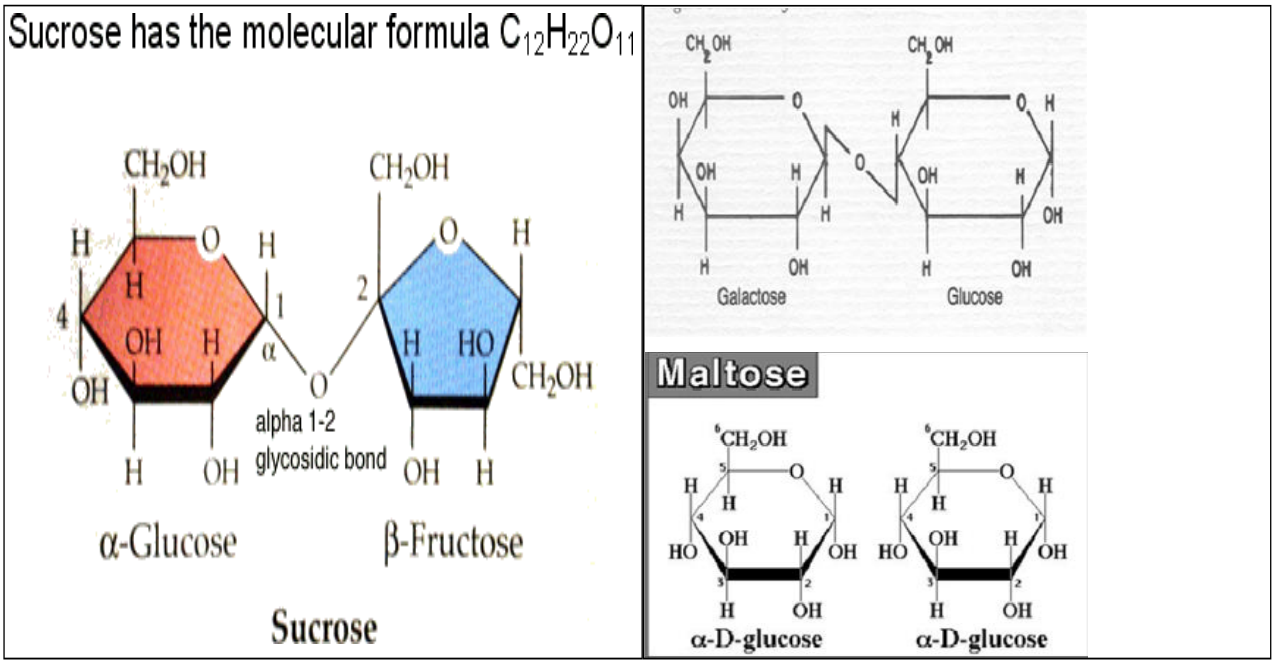
2- السكريات الثنائية: Disaccharides

السكريات الثنائية ناتجة من ارتباط سكرين أحاديين، وهي تلعب دوراً مهماً في نقل السكريات.

في الإنسان والحيوان فأن الكلوكوز هو الذي يدور في الدورة الدموية، أما في النبات فان الكلوكوز يتحول إلى شكل آخر ينتقل من مكان إلى آخر، وهذا الشكل هو الشكل الثنائي، ويعتبر هذا الشكل مخزناً للسكر لان الإنزيمات لا تتمكن من هضمهُ واستغلاله لإنتاج الطاقة، وهذه الأنزيمات موجودة فقط في الأنسجة التي تستخدم الكلوكوز.

إن السكر الثنائي يختلف حسب نوع السكر الأحادي المكون له، فعندما يرتبط الكلوكوز مع الفركتوز ينتج سكر ثنائي هو السكروز Sucrose (سكر المائدة). وهو الشكل الأكثر وجوداً في النباتات والأكثر استهلاكاً من قبل الإنسان والحيوان.

وعندما يرتبط الكلوكوز مع الكالاكتوز ينتج سكر ثنائي هو اللاكتوز Lactose (سكر الحليب). وهو الشكل الذي تستخدمهُ الثدييات كمصدر للطاقة من إرضاع صغارها (رضع الحليب المحتوي على اللاكتوز). وعندما يرتبط الكلوكوز مع الكلوكوز ينتج سكر ثنائي هو المالتوز Maltose (سكر الشعير).



3– السكريات المتعددة: Polysaccharides

وهي جزيئات ضخمة مكونة من وحدات عديدة من السكريات الأحادية، وتعتبر مخزناً (وسيلة الخزن) للسكريات في النباتات (مثل النشا) وفي الحيوانات (مثل الكلايكوجين).

أ– النشا– Starch:

هو الشكل الذي يخزن فيه السكر في النباتات، ويتكون من سلاسل طويلة (عدة مئات من الوحدات البسيطة المرتبطة) من وحدات الكلوكوز غير المتفرعة وتدعى Amylose. وتشكل هذه الوحدات حوالي 20% من النشا أما الـ ٨٠% المتبقية فتتكون من Amylopectin وهي عبارة عن تفرعات قصيرة من الامايلوز (20 – 30 وحدة كلوكوز) (الكلوكوز في النشا من نوع α- glucose) يرتبط الكلوكوز مع

الكلوكوز الذي يليه في Amylose برابطة هي: α 1-4 glycosidic bond (بين ذرة الكاربون1 في الجزيئة الأولى وذرة الكاربون 4 في الجزيئة التالية وهكذا.....)، بينما يكون الارتباط في مناطق تفرع Amylopectin برابطة هي α1-6 glycosidic bind.

إن الالتواءات والانطواء الذي يحدث في الـ amylase والتفرعات لـ Amylopectin تجعل النشا غير ذائب في الماء.

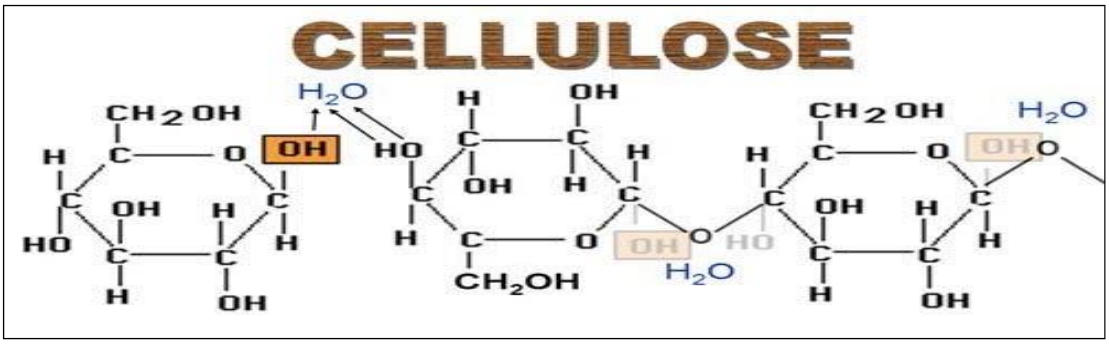
ب- الكلايكوجين Glycogen:

هو الشكل الذي يخزن فيه السكر في أنسجة الإنسان والحيوان، وهو مشابه للنشا إلا أنه أكثر طولاً للسلاسل أكثر تفرعاً.

4- الكربوهيدرات البنائية Structural carbohydrates:

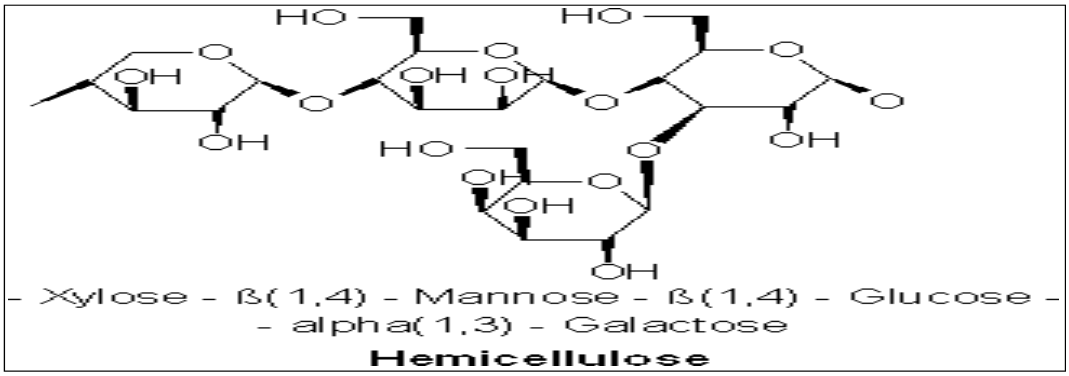
أ- السليلوز Cellulose:

يتكون من وحدات من الـ β- glucose مرتبطة مع بعضها بأواصر من نوع β–1-4 –4 glycoside وهذه الأواصر لا تتحلل بالإنزيمات المحللة للنشا الموجود في الجهاز الهضمي للإنسان والحيوان لذلك فالسليلوز يعتبر من الألياف غير الذائبة وهو سكر تركيبي في جدار خلايا النباتات، يتحلل السليلوز بأنزيمات تملكها الأحياء المجهرية الموجودة في كرش المجترات (الهضم الميكروبي التخمري).



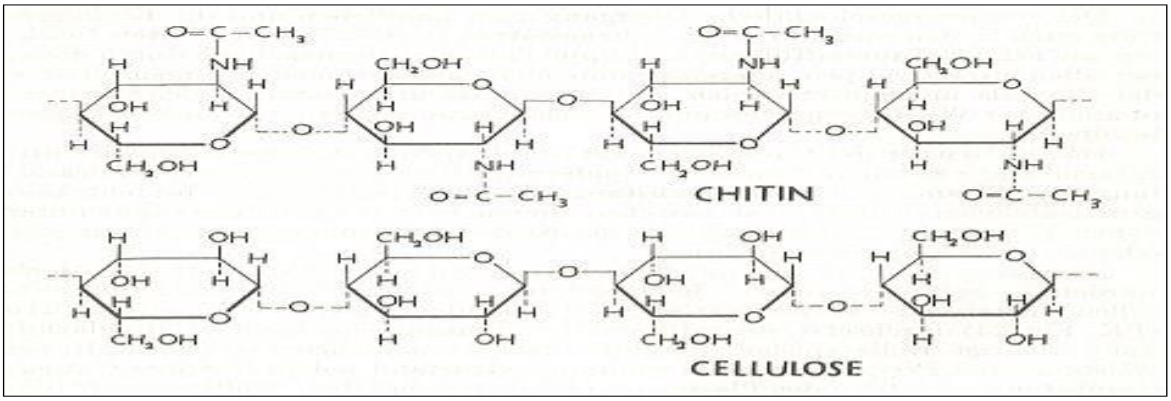
ب- الهيميسليلوز Hemicellulose:

هو سكر متعدد غير متجانس يتكون من وحدات خليطة من الكلوكوز، مانوز، زايلوز، ارابينوز... ويوجد في الألياف النباتية.



جـ- الكايتين Chitin:

هو وحدة بناء أجسام الحشرات والعديد من الفطريات، وهو شكل محور من السليلوز، إذ يضاف مجموعة نتروجين للكلوكوز N– acetyl–D–glucosamine مرتبطة مع بعضها بأواصر β – 1, 4 glycosidic bond.



دورة الخلية The Cell Cycle:

أن تصنيع DNA يحدث خلال الطور البيني Interphase، والطور البيني يمثل ذلك الجزء من دورة الخلية باستثناء طور الانقسام.

أن التكرار المنظم لتصنيع الـ DNA وانقسام الخلية في الخلايا المتكاثرة يشكل ما يدعى دورة الخلية Cell Cycle.

Generation Time (G.T):

هو الوقت من انقسام الخلية إلى الانقسام الذي يليه (الوقت بين انقسامين خلويين). ويعتمد هذا على النوع Species وكذلك الظروف البيئية. وفي الثدييات فأن (G.T) يستغرق 12 _ 14 ساعة. في الجنين تكتمل دورة الخلية خلال أقل من 20 دقيقة. كذلك فأن بعض خلايا الكبد لها دورة خلية تستغرق أكثر من

سنة.

دورة الخلية تتكون من عدة أطوار وهي:

1- طور النمو Growth Phase (G1): هو طور النمو الابتدائي للخلية وفي معظم الخلايا يشكل الطور الأطول في معظم الخلايا، ففي الثدييات يستغرق 6 – 9 ساعة. وهي الفترة التي تسبق مرحلة تصنيع DNA.

2- طور الإنتاج أو التصنيع (S) (Synthesis): يتم في هذا الطور مضاعفة المادة الوراثية للخلية (DNA)، ويستغرق في الثدييات 6 – 8 ساعة.

3- طور النمو الثاني (G2) Growth2: وهو الطور بعد مرحلة تصنيع DNA. وهو مرحلة النمو الثانية للخلية والتي تتضمن تحضير الخلية للدخول في مرحلة الانقسام، حيث تستنسخ (تزداد) المتقدرات والعضيات وتتكاثف الكروموسومات وتظهر خيوط المغزل، ويستغرق G2 2 – 5 ساعة.

إن طور G1 وطور S وطور G2 يشكلون معاً الطور البيني Interphase، وهو ذلك الجزء من دورة الخلية بين الانقسامات الخلوية.

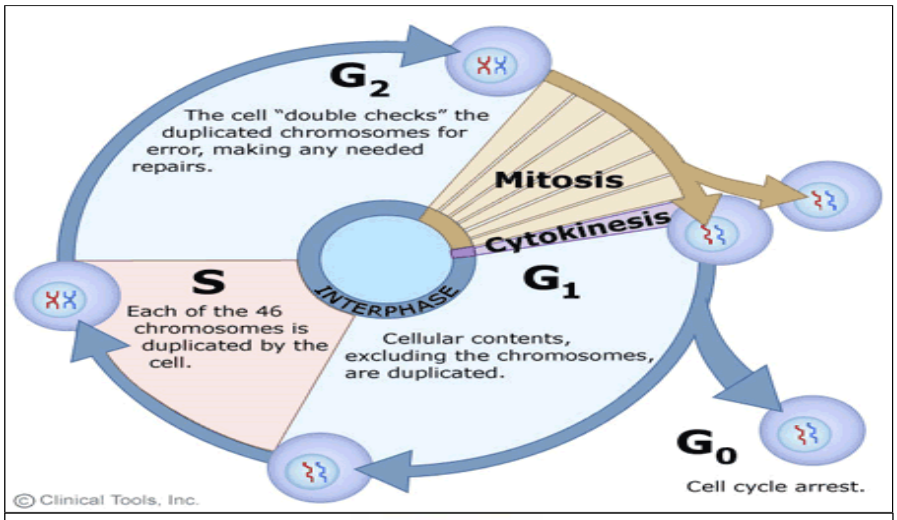
4- طور الانقسام Division (D): يستغرق طور D حوالي 0.5 –2 ساعة. ويشمل:

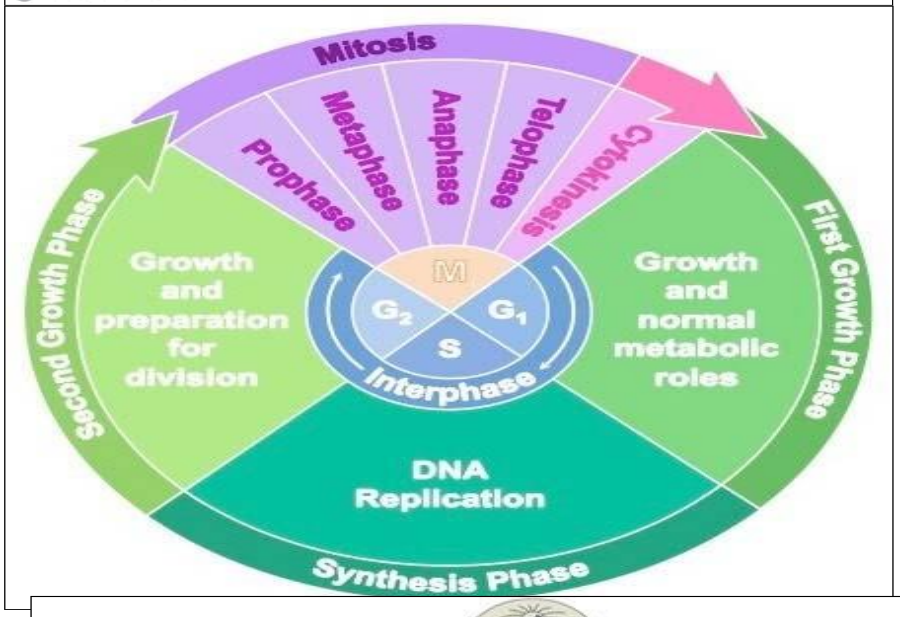
أ- إنقسام النواة M (Mitosis): الانقسام الخيطي: ويمثل المرحلة التي خلالها يتم فصل المادة الوراثية (DNA أو الكروموسومات) التي تضاعفت في طور S وتوزيعها إلى الخليتين المتكونتين (الناتجتين).

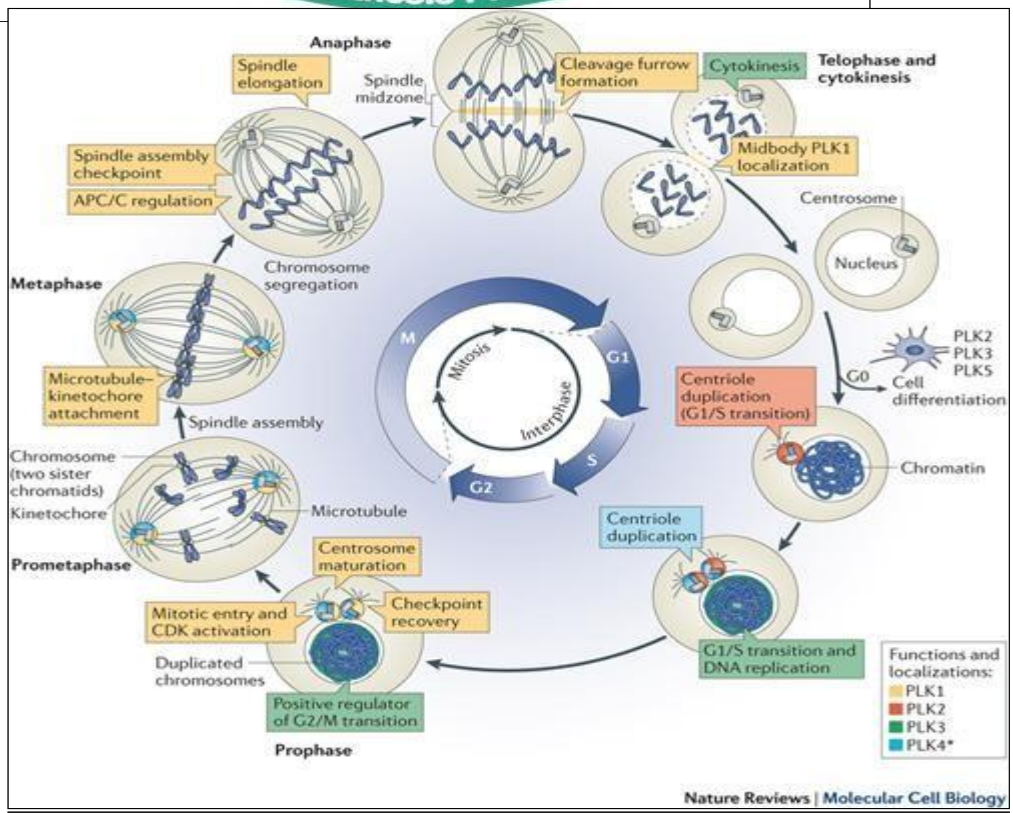
ب- الانقسام السايتوبلازم C (Cytokinesis): ويمثل المرحلة التي ينقسم فيها سايتوبلازم الخلية ويتوزع إلى الخليتين المتكونتين.

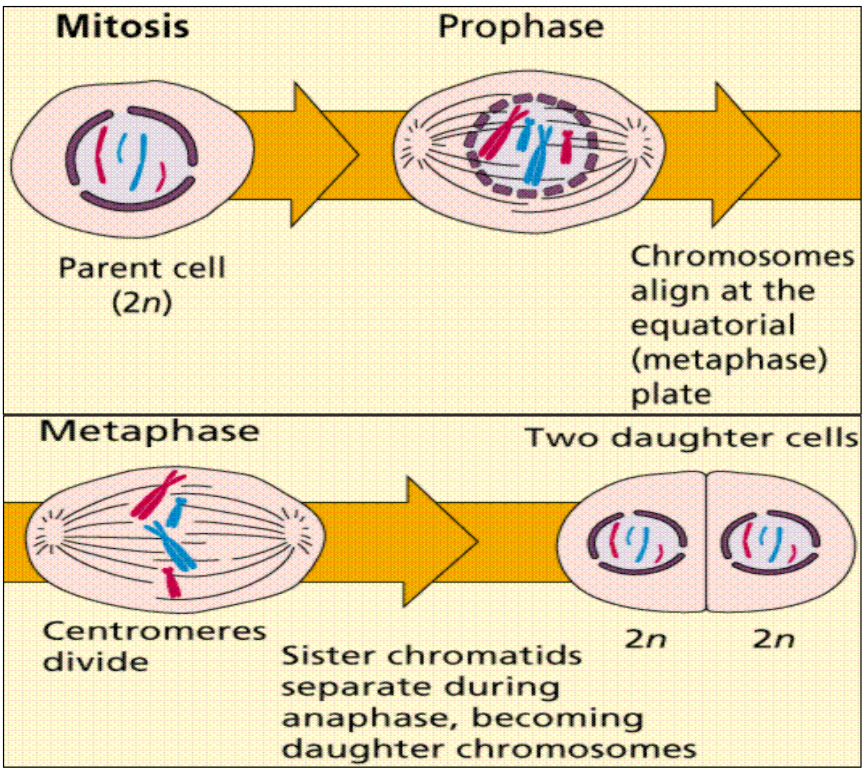
وهناك بعض الاختلافات، ففي البيضة المنقسمة يكون الطور البيني قصير يشغل بطور S يعقبهُ انقسام سريع. وعادة تكون معظم الاختلافات في الطور G1 ثم G2.

في أنسجة الكائنات الحية المختلفة، فأن الأنواع المختلفة من الخلايا تنقسم بدرجات وتكرارات مختلف، وبعضها لا تنقسم مطلقاً بعد الولادة مثل الخلايا العصبية والعضلية، وهكذا نجد أن بعض الخلايا توقف تقدمها في دورة الخلية وهذا التوقف يحدث عادة في G1 وبدرجة أقل في G2 وتدعى النقطة التي تتوقف فيها الخلية بـ G0 (G-naught) وهذا يعني أن الخلية قد انسحبت من دورة الخلية لفترة من الزمن. وإذا حفزت الخلية للعودة لدورة الخلية فأنها تعود من نفس النقطة التي انسحبت منها وتبدأ الدورة.


G2
The cell "double checks" the duplicated chromosomes for error, making any needed repairs.
Mitosis
Cytokinesis
G1
INTERPHASE
S
Each of the 46 chromosomes is duplicated by the cell.
Cellular contents, excluding the chromosomes, are duplicated.
G0
Cell cycle arrest.
© Clinical Tools, Inc.


Mitosis
Prophase
Metaphase
Anaphase
Telophase
Cytokinesis
Second Growth Phase
Growth and preparation for division
M
G2
G1
S
Interphase
Growth and normal metabolic roles
First Growth Phase
DNA Replication
Synthesis Phase


Anaphase
Spindle elongation
Spindle midzone
Cleavage furrow formation
Cytokinesis
Telophase and cytokinesis
Midbody PLK1 localization
Centrosome
Nucleus
Spindle assembly checkpoint
APC/C regulation
Chromosome segregation
Metaphase
Microtubule–kinetochore attachment
Spindle assembly
M
Mitosis
G1
Interphase
S
G2
G0
PLK2
PLK3
PLK5
Cell differentiation
Centriole duplication (G1/S transition)
Chromatin
Chromosome (two sister chromatids)
Kinetochore
Microtubule
Prometaphase
Centrosome maturation
Centriole duplication
Mitotic entry and CDK activation
Checkpoint recovery
Duplicated chromosomes
G1/S transition and DNA replication
Functions and localizations:
PLK1
PLK2
PLK3
PLK4*
Positive regulator of G2/M transition
Prophase
Nature Reviews | Molecular Cell Biology



تكاثر الخلية وانقساماتها Cell Proliferation and Divisions:

إن تكاثر الخلايا وانقسامها هو الوسيلة التي من خلالها يتم المحافظة على المعلومات الوراثية الموجودة في الخلايا والخاصة بكل نوع من أنواع الكائنات الحية، إذ أن تكاثر الخلايا وانقسامها يتم بتكرارات كبيرة جداً على مدى حياة الكائن الحي وينتقل إلى أجياله اللاحقة وهكذا تتم المحافظة على التركيب الوراثي لكل نوع.

أن التوازن بين تكاثر الخلايا وانقساماتها وبين الموت الخلوي المبرمج Apoptosis هو الذي يديم المحافظة على شكل وحجم ووظيفة الأعضاء في جسم الكائن الحي، وخصوصاً أثناء تشكل أعضاء الجسم في الجنين وخلال مراحل النمو السريعة.

أن خلايا الجسم تصنف حسب خاصية التجدد والنمو Renewal and Growth إلى 3 مجاميع:

1- **مجموعة الخلايا الثابتة Static Cell Population:** هي الخلايا التي لا يحصل فيها مضاعفة الـ DNA ولا يحصل فيها انقسام خلوي في الفترة بعد الولادة، وتمثل هذه المجموعة الخلايا العصبية والخلايا العضلية، وهذه الخلايا فقط يحصل لها فرط نمو Hypertrophy.

2- **مجموعة الخلايا المتوسعة Expanding Cells Population:** قسم من خلايا هذه المجموعة يحصل لها مضاعفة DNA وانقسام خلوي وذلك من أجل نمو العضو أو استبدال الخلايا المتضررة في العضو (النسيج) ويمثل هذه المجموعة خلايا الكبد والكلية والغدد.

3- **مجموعة الخلايا المتجددة Renewing Cells Population:** كل الخلايا ضمن هذه المجموعة يحصل فيها مضاعفة DNA وانقسام خلوي وذلك لتعويض الخلايا الميتة والتي تنتهي وظيفتها، ومثالها خلايا الدم وخلايا البشرة.

أن الانقسام الخلوي يحصل في خلايا مجموعة الخلايا المتجددة وبعض خلايا مجموعة الخلايا المتوسعة.

الانقسام الخيطي Mitosis:

هو ذلك النوع من الانقسام والذي خلاله (بعد اكتماله) تنتج الخلية المنقسمة خليتين جديدتين تحتوي كل منهما العدد الكامل من الكروموسومات (المادة الوراثية كاملة).

وأن طور الانقسام هو أقصر أطوار دورة الخلية، ويسبقه تحضير الخلية للانقسام خلال الطور البيني Interphase حيث تنمو ويحدث لها مضاعفة لـ DNA والعضيات الخلوية ثم تدخل إلى طور الانقسام.

إن الانقسام يعمل على نمو الأنسجة وإدامتها وإصلاح الأذى الذي يلحق بها.

أطوار الانقسام الخيطي Stages of Mitosis:

على الرغم من أن الانقسام الخيطي هو عملية مستمرة وغير منفصلة إلا أنه تم دراستها على شكل أطوار لغرض فهمها بشكل جيد.

1- الطور التمهيدي Prophase:

أن أهم الحوادث في هذا الطور هي تمهيد الخلية للانقسام وتكثف الكروموسومات وتصبح قصيرة وثخينة وواضحة، ثم تختفي النووية، ويبدأ تشكل المغزل spindle.

2- الطور قبل الانتقالي Prometaphase:

يحدث مباشرة بعد تكون المغزل، وفيه يضمحل الغشاء النووي إلى قطع صغيرة، خيوط المغزل تمسك الكروموسومات من منطقة السنترومير Centromere وتمتد الخيوط بين القطبين.

3- الطور الانتقالي Metaphase:

تصطف الكروموسومات في وسط الخلية وتظهر خيوط المغزل مشدودة.

4- الطور الانفصالي Anaphase:

فيه تتحرك كرماتيدات كل كروموسوم في اتجاهين متعاكسين نحو الأقطاب، يبدأ السايتوبلازم بالانقسام في بعض الخلايا.

5- الطور النهائي Telophase:

تختفي خيوط المغزل، يأخذ الغشاء النووي في الظهور حول النواتين الجديدتين، تظهر النوى.

الانقسام الهيولي Cytokinesis:

ينقسم الهيولي وتتوزع العضيات في الخليتين وتبدأ الخلية الجديدة بالانفصال.

الانقسام الأختزالي Meiosis:

أن الأهمية الفسلجية والوراثية للإنقسام الأختزالي تكمن في تنصيف أو اختزال العدد الكلي للكروموسومات Diploid للخلايا الجسمية إلى نصف العدد للكروموسومات Haploid في الأمشاج التناسلية.

ويتم الانقسام الاختزالي من خلال استنساخ (مضاعفة) المادة الوراثية DNA مرة واحدة ويعقبه انقسامين خلويين مع عدم حدوث طور S (استنساخ DNA) بينهما.

في الثدييات يحدث الإنقسام الأختزالي في المناسل (المبيض والخصية) مؤدياً إلى إنتاج الأمشاج

التناسلية (البيوض والنطف) التي تحمل نصف العدد من الكروموسومات. أن العدد الكلي للكروموسومات يعود بعد تلقيح النطفة للبويضة في عملية الإخصاب.

مراحل الإنقسام الأختزالي Stage of meiosis:

1- المرحلة الأولى (الإنقسام الأختزالي 1) Meiosis 1:

ويدعى أيضاً Reduction division لأنه ينتهي بجعل كل خلية تحتوي على نصف العدد من الكروموسومات.

يبدأ هذا الأنقسام بعد أن تكون الكروموسومات DNA قد تضاعفت في الطور البيني Interphase من دورة الخلية، وتكون مراحله كما يلي:

أ- الطور التمهيدي الأول Prophase: يقسم لغرض التوضيح إلى:

1- مرحلة Leptotene القلادي:

تتكثف الكروموسومات وتظهر على شكل خيوط مثل المسبحة (عقد أو خرز) تمثل المناطق الملتفة من الكروموسومات chromosomes.

2- مرحلة Zygotene التزاوجي:

الكروموسومات المتماثلة Homologous ترتبط على طولها بعملية تدعى synapsis وتتم العملية من خلال تكوين تركيب جديد يدعى Synaptonema complex وهو تركيب يشبه السلم يتكون من 3 أجزاء متوازية. يستمر Zygotene لساعات.

3- مرحلة Pachytene الانضمامي:

تكون الكروموسومات المتماثلة مرتبطة معاً وتدعى Bivalents أو Tetrad وهي تسمية تعكس حقيقة أن المعقد يتكون من 4 كروماتيدات. تحدث في هذه المرحلة عملية تبادل قطع الكروموسومات المتماثلة Crossing over تستمر مرحلة Pachytene لأيام أو لأسابيع.

4- مرحلة Diplotene الانفراجي:

تبدأ الكروموسومات المتماثلة بالانفصال (الأبتعاد عن بعضها) لكنها تبقى مرتبطة معاً في مواقع تدعى Chiasmata وهي المواقع التي حدث فيها عملية العبور Crossing over. تستمر هذه المرحلة أسابيع أو أشهر أو سنوات.

5- مرحلة Diakinesis الطور التشتتي:

تستعد الكروموسومات للارتباط مع خيوط المغزل. وتنفصل مناطق Chiasmaata بعملية تدعى الأنتهاء Terminalizatio.

ب- الطور الأنتقالي الأول Metaphase 1 الاستوائي):

تترتب الثنائيات المزدوجة Bivalent (الرباعيات Tetrads) على خط الاستواء للمغزل.

وكل كروموسوم متماثل ترتب بحيث أن كل كروماتيد يواجه القطب المقابل.

جـ- الطور الانفصالي الأول Anaphase 1:

تنفصل الكروموسومات المتماثلة لكل رباعي Tetrad، وتتفرق في الخليتين المتكونتين، وكل كروموسوم الآن يتكون من كروماتيدين مرتبطتين في Centromere.

د- الطور الانتهائي الأول Telophase 1:

تكون الكروموسومات متجمعة في قطبي الخلية، يبدأ تكون الغلاف النووي حول الكروموسومات في قطبي الخلية، وفي بعض الحالات يبدأ انقسام السايتوبلازم لفصل الخليتين وأحياناً تدخل الخلية مباشرة إلى الإنقسام الأختزالي الثاني.

الخلايا في هذه المرحلة تدعى الخلايا النطفية الثانوية Secondary Spermatocytes وخلية البيضة الثانوية Secondary Oocytes.

هذه الخلايا تمتلك نصف العدد من الكروموسومات haploid (1n) وتمتلك الكمية الكاملة من DNA (مثل الخلية الأصلية).

2- المرحلة الثانية (الإنقسام الأختزالي II) Meiosis II:

النواة في هذه المرحلة (بين الإنقسام الأختزالي I والإنقسام الأختزالي II) تدعى Interkinesis وتكون قصيرة (الطور البيني) ولايحدث فيه مضاعفة لـ DNA وتدخل النواة مباشرة إلى الإنقسام الأختزالي II، الذي يماثل الإنقسام الخيطي المباشر mitosis.

أ- الطور التمهيدي الثاني Prophase II:

تتكثف الكروموسومات، يبدأ الغشاء النووي بالتحلل ويبدأ تشكل المغزل.

ب- الطور الأنتقالي الثاني Metaphase II:

ترتبط خيوط المغزل مع الكروموسومات في Kinetochore.

جـ- الطور الأنفصالي الثاني Anaphase II:

تنفصل الكروماتيدات وتتحرك إلى الأقطاب بالمقابلة.

د- الطور النهائي الثاني Telophase II:

تصل الكروماتيدات إلى الأقطاب للخلية وتبدأ بالارتخاء ويتشكل الغلاف النووي.

ثم يحدث أنقسام السايتوبلازم **Cytokinesis**.

ينتج عن الإنقسام الأختزالي Meiosis: 4 خلايا تمتلك كل منها نصف عدد الكروموسومات haploid (2n)، نصف كمية DNA.

تدعى النطف Sperms والبيوض Ovum.