

علم الخلية

الدكتور
مكرم ضياء شكاره



بسم الله الرحمن الرحيم

الإهداء

إلى والديّ اللذين غرسا حب العلم في نفسي

بسم الله الرحمن الرحيم

"الحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا نهتدي لولا أن هدانا الله"

صدق الله العظيم

المقدمة

يعد علم الأحياء من العلوم التي تتعامل مع حقائق تكوين الإنسان وديمومته بصورة متواصلة متجددة مع دوام الحياة واستمرارها بكل تفاصيلها؛ لهذا فالعلم ليس علم معلومات على ما يعتقد الكثيرون، بل هو مجموعة من النظريات التي تم إثبات بعضها وينتظر الكثير منها صحة الإثبات. وذلك ما يعطي العاملين به يقيناً حقيقياً بأنهم جند صفار في سوح النضال من أجل الحقيقة والمعرفة، وقد تم توزيع الدراسات في هذا العلم على فروع متعددة لسعته وتباين مجالاته (رغم تداخل بعضها مع البعض الآخر). ولا شك في أن أهمهما أساساً هما الفرعان المختصان بدراسة علم الخلية وعلم الوراثة اللذان يعدان أساساً ومدخلاً لدراسة علم الحياة. ففي مجال علم الخلية، تم اكتشاف أدق التراكيب للخلية الحية من خلال البحوث البايوكيميائية والفلسجية والتي أكدت صحتها المجاهر الالكترونية، وتم فصلها وتنقيتها ودراسة خواصها، فضلاً عن التقدم الهائل في زراعة الأنسجة الحيوانية والنباتية.

لقد كانت أهم مشكلة واجهت تأليف هذا الكتاب الذي يتناول دراسة علم الخلية، هي محاولة تتبع أحدث الأبحاث والمراجع العلمية المتخصصة في هذا المجال؛ مما جعل إعادة كتابة بعض فصول هذا الكتاب وتنقيحه أمراً لا مفر منه، لا سيما بعد ورود معلومات جديدة عنها، فعلم الخلية في طور نمو مستمر.

لقد تم تأليف هذا الكتاب ليكون مصدراً من مصادر علم الخلية في الكليات والمعاهد المهمة بهما، وتم تقسيمه إلى عشرة فصول، كان الأول منها مقدمة في علم الخلية شملت لمحة تاريخية عن نشوء علم الخلية وعلاقته بالعلوم الأخرى وفكرة عن نظرية الخلية ونشأة الحياة أو البروتوبلازم.

أما الفصل الثاني فقد تناولنا فيه الطرق المستعملة في فصل وتحليل مكونات الخلية. في حين كان موضوع المجهرية هو الموضوع الذي خصص الفصل الثالث له وشمل دراسة المجاهر الضوئية وأنواعها وكل ما يتعلق بها من آليات تحضير وإظهار وتظليل.

في الفصل الرابع تعرفنا على المكونات الكيميائية للخلية من ماء وأيونات أملاح وغازات ومركبات عضوية. بينما كان تنظيم الخلية هو ما تخصص بدراسته الفصل الخامس. وتخصص الفصل السادس بدراسة الغشاء البلازمي والسابع بدراسة جدار الخلية والفجوات. أما الثامن فتناول بالتفصيل موضوع عضيات الخلية، في حين تم دراسة نظام الخيوط الدقيقة (الهيكل السائتوبلازمي) في الفصل التاسع. وتم تناول موضوع النواة من ناحيتي التنظيم والانقسام في الفصل العاشر، وأخيراً تم تناول موضوع شيخوخة الخلية والخلود في الفصل الحادي عشر.

وقد وثقنا دراستاتنا هذه بالرسوم والجداول والمصادر الخاصة بكل فصل توخياً لأن تكون تلك الدراسات شاملة لتؤدي الغرض المنشود.

لا يسعني في الختام إلا أن أشكر كل من أزرني في تأليف هذا الكتاب، منهم الدكتور عبد الرؤوف سميسم الذي سمح لنا باقتباس بعض الرسوم والمعلومات من كتابه (المائتوكوندريا) وفتح لنا مكتبته العلمية، والدكتور ميثم إسماعيل عباس المصحح العلمي للكتاب، والدكتور سعيد جاسم الزبيدي المصحح اللغوي له، كما أشكر السيد إبراهيم كورديان وزملائه في مكتب الفروب للطباعة لما بذلوه من جهد في عملية طبع مسودات هذا الكتاب.

وفي النهاية لا بد من القول أن هذا الكتاب لم يكن ليرى النور لولا الدعم والإسناد اللذان قدمتهما لي زوجتي الدكتورة سلام عبد الكريم سميسم وصبرها العظيم خلال مراحل الإعداد والتأليف والكتابة.

والله ولي التوفيق

المؤلف

المحتويات

5	مقدمة
	الفصل الأول
	مقدمة في علم الخلية
19	لمحة تاريخية
24	نشوء علم الخلية
25	علاقة علم الخلية بالعلوم الأخرى
26	نظرية الخلية
27	نشأة الحياة أو البروتوبلازم
	الفصل الثاني
	الطرق المستعملة في فصل وتحليل مكونات الخلية
31	دراسة الكائن الحي الكامل
32	دراسة الأعضاء المنفصلة الحيوانية
32	دراسة الأنسجة الحيوانية والنباتية
34	عمليات فصل عضيات ومكونات الخلية
34	مرحلة التجانس
36	مرحلة الفصل أو التجزئة
36	تقنيات الترسيب
44	الكروماتوغرافيا
48	الترجيل الكهربائي
50	طرق التحليل
50	تقنيات أطياف الامتصاص
52	تقنيات النظائر المشعة

53	الإشعاع.....
----	--------------

الفصل الثالث

المجهرية

59	المجاهر الضوئية وأنواعها.....
63	العلاقة بين قوة التكبير وقدرة الميز.....
65	طرق تحضير نماذج المجهر الضوئي.....
68	المجهر الالكتروني وأنواعه.....
68	المجهر الالكتروني النافذ.....
73	تحضير نماذج المجهر الالكتروني النافذ.....
78	آلية إظهار صورة النموذج.....
78	(1) الأصباغ.....
78	الصبغ السالب.....
79	الصبغ الموجب.....
79	التصوير الإشعاعي الذاتي.....
79	(2) التظليل.....
80	(3) طريقة النسخة المطابقة.....
80	(4) طريقة النقطة الحرجة.....
81	(5) طريقة كلينشمدت.....
81	المجهر الالكتروني الماسح.....
82	الصعوبات المواجهة للمجهر الماسح.....

الفصل الرابع

المكونات الكيميائية للخلية

87	المكونات الكيميائية للخلية.....
88	المركبات اللاعضوية.....

88	الماء
88	الأملاح وأيوناتها
90	الغازات
90	المركبات العضوية
92	الكربوهيدرات
92	الشحوم
92	البروتينات
93	الأحماض الأمينية
99	تقسيم البروتينات على أساس فعاليتها الحيوية
102	الأبيض
103	الحوامض النووية
104	الطاقة الحيوية

الفصل الخامس

تنظيم الخلية

109	الفيروسات
112	أنواع الفيروسات
114	دورة حياة الفيروسات البكتيرية
115	الكائنات ذات الخلايا بدائية النواة
117	أ. البكتيريا
118	ب. الطحالب الخضراء المزرقة
119	ج. المايكوبلازما
121	الكائنات ذات الخلايا حقيقية النواة

الفصل السادس

الغشاء البلازمي

127	أهمية الغشاء البلازمي
128	التركيب الكيميائي للأغشية البلازمية
130	التركيب الجزيئي للغشاء البلازمي
134	النمط المزوق السائل
135	التركيب الدقيق للغشاء البلازمي
135	تحتويات وتخصصات الغشاء البلازمي
140	طرق انتقال المواد عبر الغشاء البلازمي

الفصل السابع

جدار الخلية والفجوات

153	جدار الخلية
153	تركيب جدار الخلية
156	أهمية جدار الخلية
156	مكونات جدار الخلية
158	الفجوات
158	أنواع الفجوات
159	وظائف الفجوة العصارية
160	منشأ الفجوة العصارية وغشائها

الفصل الثامن

عضيات الخلية

168	الشبكة الاندوبلازمية والرايبوسومات
168	الرايبوسومات الطليقة
169	الرايبوسومات المرتبطة
169	الشبكة الاندوبلازمية الخشنة
170	الشبكة الاندوبلازمية الناعمة

171	التركيب الدقيق للشبكة الاندوبلازمية
171	وظائف الشبكة الاندوبلازمية
172	الميكروسومات (الأجسام الدقيقة)
173	جهاز كولجي
174	الأصل التكويني لجهاز كولجي
176	وظائف جهاز كولجي
177	اللايسوسوم
180	الأصل التكويني
183	الأمراض اللايسوسومية
185	وظائف اللايسوسوم
185	المائتوكوندرية
186	أعداد وأشكال المائتوكوندرية
187	تركيب المائتوكوندرية
190	الأعراف
192	تكاثر المائتوكوندرية
193	وظائف المائتوكوندرية
197	البلاستيدات
198	البلاستيدات عديمة اللون
199	البلاستيدات الملونة
200	البلاستيدات الخضراء
204	النظام الوراثي في المائتوكوندرية والكلوربلاست
205	العلاقة التطورية بين البكتيريا المائتوكوندرية والكلوربلاست
205	علاقة المائتوكوندرية بالبلاستيدة الخضراء
206	الأجسام الدقيقة (الجسيمات البيروكسية)

209	أجسام مجهرية أخرى
-----	-------------------

الفصل التاسع

نظام الخيوط الدقيقة - الأنابيبات الدقيقة (الهيكل السائتوبلازمي)

215	الخيوط الدقيقة
216	الأنابيبات الدقيقة
217	انتشار الخيوط الدقيقة ووظائفها
219	انتشار الأنابيبات الدقيقة ووظائفها
219	(أ) الهيكل السائتوبلازمي
221	الخيوط الوسطية
222	وظائف الهيكل السائتوبلازمي
222	(ب) الجسم المركزي
225	وظائف الجسم المركزي
225	(ج) الأسواط والأهداب
229	(د) ألياف المغزل

الفصل العاشر

النواة: التنظيم والانقسام

233	نواة الطور البيني
233	شكل النواة وحجمها وموقعها
234	أهمية النواة
236	مكونات نواة الطور البيني
237	الغلاف النووي
240	البلازما النووي
242	النوية

244.....	التركيب الكيمياوي للنواة
246.....	علاقة النواة بالساييتوبلازم
246.....	الكروموسومات
250.....	تصنيف الكروموسومات
251.....	الكروموسومات الخاصة
252.....	الانحرافات الكروموسومية
253.....	عدد الكروموسومات
254.....	الانقسام الخلوي في الخلايا بدائية النواة
255.....	الانقسام الخلوي في الخلايا حقيقية النواة
255.....	الدورة الخلوية
258.....	الطور البيني
259.....	الانقسام الخيطي (الاعتيادي)
259.....	الطور التمهيدي
262.....	الطور الاستوائي
262.....	الطور الانفصالي
263.....	الطور النهائي
263.....	انقسام الساييتوبلازم
266.....	التكاثر الجنسي واللاجنسي في الكائنات الحية
267.....	دورة الحياة الجنسية
268.....	الانقسام الاختزالي
270.....	الانقسام الاختزالي الأول
270.....	الطور التمهيدي
272.....	الطور ما قبل الاستوائي الأول

273.....	الطور الاستوائي
273.....	الطور الانفصالي الأول
273.....	الطور النهائي الأول
274.....	الانقسام الاختزالي الثاني

الفصل الحادي عشر

شيخوخة الخلية والخلود

279.....	شيخوخة الخلية والخلود
280.....	شيخوخة الخلية في المختبر
280.....	الخلية المستغنى عنها
281.....	التغذية
282.....	الشيخوخة المتأخرة
283.....	العقارات المنشطة لحيوية الإنسان
283.....	نبات الجنسغ
284.....	الغذاء الملكي
285.....	فيتامين E
285.....	الحقن بالهرمونات واتباع (حمية غذائية) معينة
285.....	التجميد ومحاولة البقاء على قيد الحياة
291.....	المراجع

جدول (1-1) وحدات النظام العالمي

وحدة الطول = متر (m)

وحدة الوزن = كيلو غرام (kg)

وحدة الزمن = ثانية (ء)

ديسي (d) deci = 10^{-1} متر

سنتي (2) centi = 10^{-2} متر

ملي (m) milli = 10^{-3} متر

مايكرو (u) micro = 10^{-6} متر

نانو (n) nano = 10^{-9} متر

بيكو (p) pico = 10^{-12} متر

فمتو (f) femto = 10^{-15} متر

هكتو (h) hecto = 10^2 متر

كيلو (k) kilo = 10^3 متر

ميكا (m) mega = 10^6 متر

تيرا (t) tera = 10^{12} متر

الوحدات التي أبطل استعمالها :

1 مايكرون = 1 مايكرومتر

1 ملي مايكرون = 1 نانومتر

1 أنكستروم (8) = 0.1 نانومتر = 10^{-10} متر

1 أبغ (in) = 2.54 سنتيمتر

الفصل الأول

مقدمة في علم الخلية Introduction to Cell Biology

لمحة تاريخية

نشوء علم الخلية

علاقة علم الخلية بالعلوم الأخرى

نظرية الخلية

نشأة الحياة أو البروتوبلازم

مقدمة في علم الخلية

Introduction to Cell Biology

لمحة تاريخية،

السنة:	الإنجاز العلمي
1660	صنع «روبرت هوك Robert Hooke» مجهرًا ذا عدستين، واكتشف عند فحص قطعة من الفلين أنها مكونة من غرف صغيرة سماها «خلايا».
1672	وصف «ناتانيل كرو Nathaneil Grew» الخلايا في أنسجة النباتات.
1673-1700	اكتشف «انتوني فان ليفنهوك Antonie Van Leeuwenhoek» تاجر الأقمشة الهولندي عند استعمال مجهره المكون من عدسة واحدة الكثير من الكائنات الحية الدقيقة، وكذلك تراكيب عدد من الخلايا، كما اكتشف وجود البلاستيدات الخضراء.
1781	اكتشف «فونتانا Fontana» النويات في الخلايا.
1808	أعلن «ميرابيل Mirabel» أن النبات يتكون من أنسجة خلوية غشائية.
1809	أعلن «لامارك Lammark» أن للخلية وظائف هامة.
1824	أعلن «دوتروشيت Dutrochet» أن أجسام الحيوان والنبات مكونة من خلايا متلاصقة بقوى معينة.
1831	اكتشف «روبرت براون Robert Brown» وجود نواة داخل كل خلية شاهدها.
1838-1839	أعلن «ثيودور شوان Theodore Schwann» المتخصص في علم الحيوان و «ماتياس شليدن Mathias Schleden» المتخصص في علم النبات بأن الخلية هي وحدة بناء الكائن الحي «نظرية الخلية».

- 1840 أطلق «باركنجي Burkinje» مصطلح «البروتوبلازم» على محتويات الخلية.
- 1845 تم التقاط أول الصور بالكاميرا للأحياء المجهرية من خلال المجهر الضوئي (بداية التصوير الجهري).
- 1846 ظهرت نظرية «ناجيلي Nageli» التي أثبتت أن الخلايا النباتية تصنع نفسها بنفسها.
- 1850-1870 تم البدء باستعمال الأصباغ لصبغ خلايا الأنسجة. وكانت أول الأصباغ المصنعة هي «صبغة الكارمين الحمراء».
- 1855 اكتشف «برينكشيم Bringsheim» عملية الإخصاب الكامل في الأشنات.
- 1858 تم صدور كتاب «أصل الأنواع» لتشارلز دارون Charles Darwin.
- 1861 تم بدء استعمال كلمة «البروتوبلازم» للدلالة على المواد الحية داخل الخلية فقط.
- 1865 أعلن «جريجور مندل Gregor Mendel» نظريته في «الوراثة».
- 1869 تمت تنقية الحامض النووي معدوم الأوكسجين DNA التي قام بها العالم السويسري «فردريك ميسشر Frederick Miescher» وأسماء «نيوكلين Nuclein».
- 1870 طور «هس His» آلة القطع الدقيقة Microtome مسهلاً قطع مقاطع رقيقة من الأنسجة مما يسهل دراستها.
- 1872 تم تحسين المجهر الضوئي بحيث وصل التكبير إلى ألف مرة.
- 1873 وصف «فول Fol» المغزل والأشعة النجمية.
- 1876 اكتشف «هارتكويك Hartwig» اتحاد الحيامن باليوض في قنفذ البحر.
- 1879 اكتشف العالم الألماني «والتر فليمينك Walter Fleming» الكروموسومات، وأطلق عليها اسم «كروماتين».
- 1880 اكتشف «فول» بأن البيضة يتم تخصيبها بحيمن واحد فقط.

- 1881 اكتشف «زكريا Zacharia» بأن الكروماتين والنيوكلين هما اسمان لشيء واحد.
- 1882 اكتشف «والتر فليمنك» الانقسام الاعتيادي «Mitosis».
- 1885 اكتشف العالم البلجيكي «ادورد فون بيندن Eduoard Von Benden» الانقسام الاختزالي Meiosis.
- 1888 - استعمل العالم «ويدير Wadieyer» مصطلح «الكروموسوم» لأول مرة.
- 2- تم اكتشاف الجسم المركزي من قبل العالمين هنكي ولينهوسك & Henki Linkhose.
- 3- تم اكتشاف المايوتوكونديريا من قبل العالم البرت كوليكير. Albert Koliker.
- 1897 تمت إعادة نشر مؤلفات «فردريك ميشر» مكتشف (د ن أ) DNA
- 1900 1- إعادة اكتشاف نظريات مندل في الوراثة.
- 2- تم اكتشاف أن «الطفرة الوراثية» من قبل هوجوديفريز.
- 3- تم اكتشاف أن الحامض النووي معدوم الأوكسجين مكون من أربع قواعد فقط.
- 1902 1- اكتشف «وليم ساتون William Sutton» وجود عدد من الجينات في كل كروموسوم.
- 2- اكتشف «كارل لاندشتاينر Karl Landsteiner» فصائل الدم في الإنسان.
- 1906 1- استعمل «توماس هنت مورجان Thomas Hint Morgan» ذبابة الفاكهة في التجارب الوراثية.
- 2- اكتشف «مورجان» وجود الجينات في مواقع ثابتة في الكروموسومات.
- 3- اكتشف «مورجان» ظاهرة الارتباط في الكروموسومات.
- 4- تم إثبات أن كروموسوم Y في الحيمن يكون مسؤولاً عن تحديد جنس الجنين.
- 1927 استطاع «هرمات موللر Herman Muller» استخدام الأشعة السينية لإحداث الطفرات الوراثية في ذباب الفاكهة.
- 1933 مُنح «مورجان» جائزة نوبل تقديراً لأبحاثه في ذباب الفاكهة.

- 1935 اكتشاف «ليفين» Levin التركيب الكيميائي للنيوكليوتيدات.
- 1937 تم استعمال الفيروسات في التجارب الوراثية.
- 1943-1946 تم إثبات أن الحامض النووي معدوم الأوكسجين يقوم بنقل الصفات الوراثية، وأن الجينات تتحكم في إفراز الأنزيمات.
- 1953 وضع كل من «جيمس واطسن James Watson» و«فرانسيس كريك Francis Crick» نمطاً للتركيب الجزيئي للحامض النووي معدوم الأوكسجين.
- 1956 1- تم اكتشاف أن عدد كروموسومات الإنسان هو 46 وليس 48.
2- تم اكتشاف أن التعليمات الوراثية يتم إرسالها بتركيب معين من القواعد النتروجينية.
- 1958 1- تم إثبات أن شريطي اللولب الحلزوني للحامض النووي معدوم الأوكسجين ينفصلان عند انقسام الخلية من قبل واطسن وكريك.
2- تم فصل وتنقية أول أنزيمات البلمرة وتسميته «انزيم البلمرة DNA1 Polymerase I» من قبل آرثر كورنبرك Arthur Kornberg.
- 1959 تم فصل وتنقية انزيم بلمرة الحامض النووي الرايبوزي RNA Polymerase، من قبل أربع جماعات بحثية تعمل منفصلة في الوقت نفسه.
- 1960 تم اكتشاف الحامض النووي الرسول mRNA واستعماله من قبل فرانسو جاكوب وجاك موند لصنع Poly-U لتكوين الحروف الأولية من الشفرة الوراثية.
- 1965 تم اكتشاف «البلازميدات».
- 1966 تم اكتشاف طريقة صنع البروتينات «الشفرة الوراثية» من قبل فرانسيس كريك.
- 1970 تم فصل الأنزيمات المحددة وتنقيتها Restriction enzymes من قبل ورنر اريل Werner Arbil وهاملتون سمث Hamilton Smith ودانيال ناثن Daniel Nathan.
- 1972 تمت عملية التخليق الحيائي الصناعي لأول حامض نووي معدوم الأوكسجين في جامعة ستانفورد Stanford في الولايات المتحدة.

- 1973 I- تمت أولى عمليات كلونة الحامض النووي معدوم الأوكسجين والتي تعد بداية «الهندسة الوراثية» في جامعة ستانفورد.
- 2- سادَ القلق من التجارب المتعلقة بالهندسة الوراثية.
- 1974 أطلقت دعوة لإيقاف تجارب التخليق الحيوي الصناعي للحامض النووي معدوم الأوكسجين.
- 1975 تم اجتماع «ازيلومر Asilomar بكاليف رنيا لدراسة أخطار تجارب الهندسة الوراثية.
- 1977 1- تم تأسيس أول شركة تستعمل الهندسة الوراثية في صناعة منتجاتها من الأدوية، وهي شركة Genetech.
- 2- تم البدء بكلونة الحامض النووي معدوم الأوكسجين في اللبائن.
- 3- اكتشاف طريقة سريعة لمعرفة تسلسل الحامض النووي معدوم الأوكسجين من قبل فريد سنجر Fred Sanger.
- 1978 1- تم منح جائزة نوبل للعلماء الذين اكتشفوا الأنزيمات المحددة وهما هاملتون سمث وتوماس كيلي Thomas Kelly.
- 2- تم إنتاج أول هرمون بشري يتم تصنيعه «بالهندسة الوراثية» من قبل كوينو كورنا Gobino Khorana.
- 1979 حصل سماح رسمي من حكومات العالم بنقل الحوامض النووية معدومة الأوكسجين داخل الفيروسات إلى خلايا أخرى.
- 1980 تم تأسيس أول مصنع لإنتاج الانسولين بالهندسة الوراثية في الولايات المتحدة.
- 1982 تم طرح «الانسولين» المصنع وراثياً إلى الأسواق.
- 1983 تم اكتشاف التسلسل الكامل للحامض النووي معدوم الأوكسجين في عاثية لامبدا، وأنه مكون من ثمان وأربعين ألف وخمسمائة واثنان قاعدة نيتروجينية من قبل فريد سنجر وجماعته.

نشوء علم الخلية

يُعدُّ علم الخلية Cytology أحد فروع علم الحياة الذي يتناول دراسة التركيب التفصيلي للخلايا المنفردة من حيث الشكل والنوع والتركيب والوظيفة، كما تتطلب دراسة هذا الفرع إلماماً واسعاً بعلوم الحياة الأخرى مثل علوم الوراثة والفسلجة والأجنة والتشريح والأحياء المجهرية والكيمياء الحياتية وغيرها من العلوم التي لا يستغني الباحث عنها. وقد بدأ ظهور هذا العلم مع قيام الأخوين الهولنديين من عائلة «جينسن Janssen» بصناعة أول مجهر ضوئي عام 1590م وتلاههم الكثير من العلماء الهواة، الذين اكتشفوا أشياء كثيرة من خلال النظر إلى ما يحيط بهم، ومنهم الطبيب الإيطالي «مارسيلو مالبيجي Marcello Malpighi» الذي شاهد حركة الدم في الأوعية الدموية داخل الرئتين عام 1660، وأضاف الكثير إلى دراسات الحيوان التشريحية، و«انتوني فان ليفنهوك Antonie Van Leeuwenhoek» تاجر الأقمشة الهولندي وهاوي صنع العدسات والمجاهر الذي شاهد ورسم الكثير من الابتدائيات والطحالب والبكتيريا من خلال مجهره البسيط بين 1673-1700م، والعالم الانكليزي «روبرت هوك Robert Hooke» الذي نشر كتابه الشهير «ميكروكرافيا Micrographia» في 1665م والذي ضم صوراً بديعة لمشاهداته خلال المجهر. وكان من أهم فصول الكتاب الفصل الذي تضمن مشاهداته لخلايا الفلين إذ قال نصاً: «انتقيت قطعة من الفلين الجيد المنتزع من لحاء شجرة معمرة، وقطعت منه رقاقة بمبراة حادة بحيث كان السطح أملساً للغاية، وفحصتها بعناية بمجهر ذي عدستين، فوجدت أن مادتها مليئة بالهواء الذي تحيطه بإحكام صناديق أو غرف تشبه خلايا عسل النحل». وقد تمت تسمية هذه الغرف Cells وتعني باللاغريقية «فضاء فارغ» أو «وعاء فارغ» ولم يدرك «هوك» أهمية اكتشافه، إلا أن نشر كتابه الآنف الذكر حفّز العلماء على استعمال المجاهر بكثرة، وإن كان هذا الاستعمال قد اقتصر بين 1700-1830م على مجال علم التصنيف الذي كان رائده العالم السويدي كارلوس لينوس Carlous Linnaeus (1707-1778)م، ولفحص المتحجرات التي بدأت تجتاح اهتمام الوسط العلمي خلال تلك السنوات. ولكن الاهتمام بدراسة الخلية استعاد نشاطه مع اكتشاف العالم الانكليزي «روبرت براون Robert Brown» نواة الخلية، وكان براون قد درس الطب ومارسه خمس سنوات، ثم اتجه

لدراسة النباتات وطرق تصنيفها فرحل إلى أستراليا وجمع بين 1801-1805 حوالي أربع آلاف عينة نباتية، كان الكثير منها جديداً على العالم، وقد اكتشف عام 1823 م في أثناء دراسة زهرة الأوركيد تحت المجهر أن الخلايا التي وصفها «روبرت هوك» بأنها فارغة تحوي نتوءاً مستديراً يشبه حبة البندق أسماه «نواة nucleus» ومعناه بالاغريقية «بندقة». ورغم أن «روبرت براون» لم يهتم بهذا الاكتشاف ولم ينشره إلا في عام 1831م، فإن شهرته كعالم نباتي مكتشف (إذ أنه اكتشف الحركة البراونية للجزيئات)، جعلت علماء الأحياء يتجهون مرة أخرى لدراسة الخلية من جهة، ويهتمون بملاحظات العلماء السابقين من أمثال وولف Walf (1759م) وميريل Mirbel و أوكن Oken 1805م، ولامارك Lammark 1809م وديتروشد Dutrochet (1824م) الذين بينوا أن الأنسجة النباتية أو الحيوانية مكونة من خلايا مترابطة مع بعضها، وأن وجود الخلية مهم للكائن الحي. وبعد فترة قصيرة، أعلن العالمان الألمانيان شليدن وشوان نظريتهما في الخلية بين عامي 1838-1839م والتي تنص على أنه: «يتكون كل كائن حي من خلايا ومنتجاتها، والخلية هي كتلة من البروتوبلازم تحوي نواة واحدة أو أكثر في أحد أدوار حياتها، وهي الوحدة التركيبية والوظيفية لجسم الكائن الحي». وأعقب ذلك استعمال آلة التصوير لالتقاط أول صور للخلية (1845م)، ثم التطور الهائل في تقنية إعداد الشرائح المجهرية فضلاً عن تطور صناعة الأصباغ المستعملة في التحفير. ومع اكتشاف الانقسامين الخيطي والاختزالي، ومعظم عضيات الخلية بين 1880-1890م، وتطور صناعة المجهر الضوئي قفز علم الخلية قفزة واسعة إلى الأمام. ومع مطلع القرن العشرين، بدأ استعمال مجاهر الأشعة فوق البنفسجية، ثم استعمال المجاهر الالكترونية (1932م) التي تطورت إلى أنواع متعددة، كل ذلك جعل التفاصيل الدقيقة للخلية أكثر وضوحاً. ولكن دراسة علم الخلية لم تقتصر على الرؤية المجهرية فقط، إذ تطورت طرق فصل عضيات الخلية ودراستها من خلال استعمال طرق كيميائية وفيزيائية وفلسجية مختلفة، ولكن ما زال هناك طريق طويل ليستطيع الإنسان فهم طريقة عمل الخلية بصورة كاملة.

علاقة علم الخلية بالعلوم الأخرى،

إن دراسة أي فرع من فروع علم الحياة Biology مثل دراسة علم التصنيف

Taxonomy، وعلم الأجنة Embryology، وعلم الأنسجة Histology، وعلم الأحياء المجهرية Microbiology، وعلم الفسلجة Physiology، وعلم الوراثة Genetics، وعلم المناعة Immunology، وعلم الطفيليات Parasitology، وغيرها، تتطلب الإلمام بـ «علم الخلية» أولاً، فضلاً عن ارتباط أو امتزاج هذا العلم -في الوقت الحاضر- بعلوم حديثة مثل: الكيمياء الحياتية Biochemistry، والفيزياء الحيوية Biophysicis، والإحصاء الحيوي Biometry، كما انبثقت من هذا العلم علوم حديثة مثل: فسلجة الخلية Cell Physiology، وكيمياء الخلية Cytochemistry، ووراثة الخلية Cytogenetics، وكلونة الخلية Cell Cloning، والكيمياء الحياتية للخلية Cellular Biochemistry، وفيزياء الخلية Cytophycis.

نظرية الخلية Cell theory

نظراً للتقدم الهائل الذي حصل في بداية القرن التاسع عشر في مجال دراسة الخلية بالمجهر، أصبح الطريق مههداً لظهور «نظرية الخلية» التي صاغها على أوضح صورة العالمان الألمانيان «ماتياس شليدن Mathasis Schleiden» المتخصص في علم النبات عام 1838م، و «ثيودور شوان Theodor Schwann» المتخصص في علم الحيوان عام 1839م، إذ استطاعا جمع أدلة مقنعة توضح: (أن جميع الكائنات الحية مكونة من وحدات متشابهة تسمى الخلايا، وأن أجسام الكائنات الحية عبارة عن تجمع هذه الخلايا التي حصل بينها توزيع وتنظيم في نوع العمل، وأن نشاط الكائن الحي هو عبارة عن مجموعة الأنشطة الناتجة عن عمل الخلايا مختلفة الوظائف). وقد تم قبول هذه النظرية رغم الانتقادات الموجهة إليها، لا سيما ما أورده «شليدن» عن التضاعف الخلوي إذ اعتبر «أن الخلايا الجديدة تتكون داخل الخلايا القديمة حول النواة التي أطلق عليها اسم «سايتوبلاست Cytoblast»، وقد أثبت اكتشاف الانقسامين الخيطي (1882م)، والاختزالي (1885م) صحة نظرية العالم الألماني «رودلف فيرشو» التي أعلنها عام 1855م عن «انقسام الخلايا القديمة لتكوين خلايا جديدة». واستمرت الدراسات والأبحاث في عملية انقسام الخلية إلى أن توصل العلماء إلى اكتشاف أدق التفاصيل في عمليات الانقسام مثل «الاستساخ النووي» والتي أدت فيما بعد إلى أبحاث «الكلونة والهندسة الوراثية». ولكن نظرية الخلية ما تزال قائمة، وإن تغيرت بعض الشيء عما ذكره شليدن وشوان، وأصبحت كالآتي:

«الخلية هي كتلة من البروتوبلازم محاطة بغشاء بلازمي ونواة أو أكثر في أحد أدوار حياتها، وهي الوحدة التركيبية والوظيفية لجسم الكائن الحي، وكل كائن حي يتكون من خلايا ومنتجاتها».

نشأة الحياة أو البروتوبلازم:

ذكر اللورد كالفن Lord Kelvin عام 1871م « أن الحياة قد تكونت بعيداً عن الأرض وانتقلت إليها عن طريق الشهب والنيازك على شكل جراثيم شديدة المقاومة للجو الفضائي»، وقد حوّر العالم السويدي «جوستاف ارهينيس Gustav Arrhenius» هذه النظرية إلى النحو الآتي: « إن لضغط الضوء القدرة على نقل الكائنات المجهرية خلال الفضاء ويسرع كبيرة تتمكن من خلالها البقاء حية، لأن النشاط الحيوي في الفراغ بين الكواكب ينخفض إلى (-220م)». ورفض الكثير من العلماء هذه النظرية لطول الزمن الذي تحتاجه الأحياء المجهرية للوصول إلى الأرض، علاوة على تعرضها للحرارة الشديدة المحيطة بالغلاف الجوي، فضلاً عن الإشعاعات الشمسية المميتة في الفراغ. وقد اقترح العالمان الأمريكيان فرانسيس كريك وليسلي أورجيل Francis Crick & Leslie Orgel إحياء هذه النظرية عام 1980، على الشكل الآتي: «تم نقل الأحياء المجهرية ليس عبر الفضاء، وإنما من خلال مركبة فضائية أرسلتها إحدى الحضارات المتكونة في الكون الواسع والتي وصلت إلى مرحلة التطور الحضاري، وخاصة أن تلك الحضارة وبعد أن وجدت نفسها على وشك تدمير نفسها، فإنها أرسلت مكونات الحياة بسفن فضائية إلى مختلف أرجاء الكون، ووصل بعضها إلى عالمنا». والسؤال هو: كيف تكونت الحياة في ذلك الكوكب البعيد؟

في عام 1924م أعلن العالم الروسي «آ. أوبارين A. Oparin» نظرية عن تكون الأرض حيث قال: «إن وجود غاز الميثان والأمونيا وبخار الماء في جو الأرض وانعدام الأوكسجين سهّل قيام الأشعة فوق البنفسجية الآتية من الشمس بإحداث عواصف كهربائية، وإن عدم ثبات قشرة الأرض أدى إلى ثورات بركانية، وكل ذلك أدى إلى تكون «سائل قبل الحياة» المكون من مركبات عضوية، والذي سيصبح أساس الحياة فيما بعد».

وبقيت النظرية مجرد نظرية كباقي النظريات إلى أن قام العالمان «هارولد أوري وستانلي ميللر Harlod Urey & Stanley Miller» عام 1950م بإجراء تجربة لإثبات هذه النظرية، حيث وضعوا غاز الميثان وغاز الأمونيا وغاز الهيدروجين وماء في وعاء كبير متصل بقوة كهربائية، وأحدثوا نوعاً من العواصف الكهربائية داخله عدة أيام، فوجدوا تكون عدد من الأحماض الأمينية داخل الوعاء، وخلال تجارب متعددة، أفلحوا في تكوين أحماض أمينية وعدد من القواعد النيتروجينية «أساس تكوين الحوامض النووية». وفي عام 1970م تمكن العلماء من صنع سلاسل ببتيدية طويلة، داخل مثل هذا الوعاء، ولكن المشكلة الأساسية هي أن الكائن الحي ليس مواد عضوية فقط وإنما هو كائن حي قادر على التكاثرات الذاتية، ورغم أن وعاء أوري وميللر لا يزال عاملاً لغاية وقتنا الحاضر بدون انقطاع، فإن أي مادة حية لم تتكون رغم وجود حوامض أمينية وكربوهيدرات وغيرها.

مراجع الفصل الأول

- Albersheim, P., Sci. Amer., 232 (1975) 80.
- Baumeister. W., Cytobiologie, 17 (1978) 246.
- Beveridge, T.J., Int. Rev. Cytol., 72 (1981) 229.
- Claude, A., Science, 189 1(1975) 433.
- Hayflick, L., Sci. Amer, 242 (1980) 58.
- Margulis, L., Sci. Amer, 225 (1971) 48.
- Neil, M.F., Metabolism, 1999, North Pub. Ltd., New York, USA.
- Sloboda, R.D., Amer. Sci. 68 (1980) 290.
- Vidal. G., Sci. Amer. 250 (1984) 48.
- Woese, C.R. & Fox, G.E., Proc. Natl. Acad. Sci., 74 (1977) 5088.
- Zachar, Z., Cell, 30 (1982) 529.

الفصل الثاني

الطرق المستعملة في فصل مكونات الخلية وتحليلها

Tools and Methods of Cell Biology

دراسة الأعضاء المنفصلة الحيواني

دراسة الأنسجة الحيوانية والنباتي

عمليات فصل عضيات ومكونات الخلية

مرحلة التجان

مرحلة الفصل أو التجز

تقنيات التر

الكروماتوغرافيا

الترحيل الكهربائي

طرق التحليل

تقنيات أطياف الامتصاص

تقنيات النظائر المشعة

الإشعاع

الطرق المستعملة في فصل مكونات الخلية وتحليلها

Tools and Methods of Cell Biology

أتت معظم المعلومات المتصلة بتركيب الخلية الكيمياوي، ووظائف عضياتها ومركباتها المختلفة من دراسة الكائنات الحية الكاملة أولاً، فدراسة أنسجتها ثانياً، فدراسة فصل عضيات ومكونات الخلية ثالثاً.

دراسة الكائن الحي الكامل

يتم إجراء تجارب على الكائنات الحية من خلال وضع هذه الكائنات تحت نظام غذائي صارم، تزداد أو تنعدم فيه بعض العناصر الغذائية فترة معينة من الزمن لدراسة تأثير زيادة أو انعدام تلك العناصر على فسلجة الكائن الحي (يتم زرع النباتات أو بادرانها أو بذورها في تربة معقمة، ثم يتم سقيها بماء معقم معدوم الأيونات يحوي كمية العناصر المراد دراسة تأثيرها).

يتم استعمال الكثير من الحيوانات المختبرية كالفئران والقطط والكلاب والقرود وغيرها - وكذلك الكثير من النباتات - لدراسة تأثير التلوث وظروف البيئة والعناصر المشعة والمواد المطفرة عليها، كما تستعمل في عدد كبير من أبحاث الفضاء المختلفة، ولكن يتم استعمال 80% من الحيوانات المختبرية في العالم لدراسة التأثيرات الأساسية والجانبية للعقاقير الطبية. ويمكن بسهولة - وباستعمال تقنيات خاصة - تتبع مسار العقاقير داخل جسم الكائن الحي لمعرفة:

- 1- معرفة مدى قابلية الأنسجة على امتصاص العقاقير، ونوع تلك الأنسجة.
- 2- تأثير العقاقير على بروتينات الدم أو شحوم الخلايا أو الحوامض النووية.
- 3- تأثير العقاقير على عمليات الأيض البنائية أو الهدمية.
- 4 - تحديد نسبة العقاقير الطبية الممتصة ونسبة العقاقير المفرزة خارج الجسم عن طريق العرق أو البول أو الفضلات.

5- تأثير العقاقير على الأجنة

6- احتمال تدمير العقاقير لبعض الأنسجة أو قابليتها للسماح بتكوين خلايا سرطانية.

دراسة الأعضاء المنفصلة الحيوانية،

تستعمل الأعضاء المنفصلة عن الجسم الحي (مثل الكبد والكلية والقلب) لغرض دراسة تأثير العديد من العقاقير الطبية المحفزة لحركتها، ويتم وضع مثل هذه الأعضاء المنفصلة في محاليل خاصة - منعاً لتلفها - ويتم ربطها بأجهزة خاصة تزودها بالدم والأكسجين. ولكن المشكلة الأساسية التي تواجه مثل هذه الدراسات هي انعدام تأثير السيطرة العصبية والهرمونية على هذه الأعضاء، مما يجعل تأثير العقاقير المحفزة للأعضاء مختلفاً داخل الجسم عن تأثيره خارج الجسم.

دراسة الأنسجة الحيوانية والنباتية،

يتم قتل الحيوان وإزالة الأنسجة المراد دراستها بسرعة وذلك لمنع تأثيرات ما بعد الموت عليها، ويتم غمر الأنسجة المقطوعة بسمك ما بين 0.5 - 1 سم في محاليل خاصة تحوي تراكيز مختلفة من الصوديوم والمغنيسيوم والكالسيوم وغيرها من العناصر، بحيث يتم دراسة هذه العناصر المضافة إلى هذه الأنسجة على عمليات الأيض، وكذلك دراسة تأثير وجود الأكسجين أو انعدامه على تلك الأنسجة.

تواجه دراسة الأنسجة النباتية صعوبات عدة؛ لاحتواء بعض النباتات على كمية قليلة من الأنسجة الحية (خاصة الأنسجة المرستيمية)، كما أن دراسة تأثير العناصر والمركبات الكيميائية على الأيض النباتي أصعب بكثير من دراسة تأثيرها على الأيض الحيواني، لهذا يعتمد علماء الأحياء في دراستهم على تقنية المزارع النسيجية Tissue cultures .

تستعمل هذه التقنية لدراسة الخلايا الحية خارج جسم الكائن الحي، إذ يتم تقطيع النسيج الحيواني أو النباتي إلى قطع صغيرة تعامل بأنزيمات خاصة تحللها إلى خلايا مفككة مفردة دون أي تأثير على حيويتها، ثم تزرع كل خلية على حدة في وسط غذائي خاص، وتستمر كل خلية في الانقسام لعدة أجيال قد تزداد في حالة خلايا النبات إذا

الطرق المستعملة في فصل مكونات الخلية وتحليلها

Tools and Methods of Cell Biology

أتت معظم المعلومات المتصلة بتركيب الخلية الكيميائي، ووظائف عضياتها ومركباتها المختلفة من دراسة الكائنات الحية الكاملة أولاً، فدراسة أنسجتها ثانياً، فدراسة فصل عضيات ومكونات الخلية ثالثاً.

دراسة الكائن الحي الكامل

يتم إجراء تجارب على الكائنات الحية من خلال وضع هذه الكائنات تحت نظام غذائي صارم، تزداد أو تنعدم فيه بعض العناصر الغذائية فترة معينة من الزمن لدراسة تأثير زيادة أو انعدام تلك العناصر على فسلجة الكائن الحي (يتم زرع النباتات أو بادراتها أو بذورها في تربة معقمة، ثم يتم سقيها بماء معقم معدوم الأيونات يحوي كمية العناصر المراد دراسة تأثيرها).

يتم استعمال الكثير من الحيوانات المختبرية كالفئران والقطط والكلاب والقروود وغيرها - وكذلك الكثير من النباتات - لدراسة تأثير التلوث وظروف البيئة والعناصر المشعة والمواد المطفرة عليها، كما تستعمل في عدد كبير من أبحاث الفضاء المختلفة، ولكن يتم استعمال 80% من الحيوانات المختبرية في العالم لدراسة التأثيرات الأساسية والجانبية للعقاقير الطبية. ويمكن بسهولة - وباستعمال تقنيات خاصة - تتبع مسار العقاقير داخل جسم الكائن الحي لمعرفة:

- 1- معرفة مدى قابلية الأنسجة على امتصاص العقاقير، ونوع تلك الأنسجة.
- 2- تأثير العقاقير على بروتينات الدم أو شحوم الخلايا أو الحوامض النووية.
- 3- تأثير العقاقير على عمليات الأيض البنائية أو الهدمية.
- 4 - تحديد نسبة العقاقير الطبية الممتصة ونسبة العقاقير المفرزة خارج الجسم عن طريق العرق أو البول أو الفضلات.

5- تأثير العقاقير على الأجنة.

6- احتمال تدمير العقاقير لبعض الأنسجة أو قابليتها للسماح بتكوين خلايا سرطانية.

دراسة الأعضاء المنفصلة الحيوانية،

تستعمل الأعضاء المنفصلة عن الجسم الحي (مثل الكبد والكلية والقلب) لفرض دراسة تأثير العديد من العقاقير الطبية المحفزة لحركتها، ويتم وضع مثل هذه الأعضاء المنفصلة في محاليل خاصة - منعاً لتلفها - ويتم ربطها بأجهزة خاصة تزودها بالدم والأكسجين. ولكن المشكلة الأساسية التي تواجه مثل هذه الدراسات هي انعدام تأثير السيطرة العصبية والهرمونية على هذه الأعضاء، مما يجعل تأثير العقاقير المحفزة للأعضاء مختلفاً داخل الجسم عن تأثيره خارج الجسم.

دراسة الأنسجة الحيوانية والنباتية،

يتم قتل الحيوان وإزالة الأنسجة المراد دراستها بسرعة وذلك لمنع تأثيرات ما بعد الموت عليها، ويتم غمر الأنسجة المقطوعة بسمك ما بين 0.5 - 1 سم في محاليل خاصة تحوي تراكيز مختلفة من الصوديوم والمغنيسيوم والكالسيوم وغيرها من العناصر، بحيث يتم دراسة هذه العناصر المضافة إلى هذه الأنسجة على عمليات الأيض، وكذلك دراسة تأثير وجود الأكسجين أو انعدامه على تلك الأنسجة.

تواجه دراسة الأنسجة النباتية صعوبات عدة؛ لاحتواء بعض النباتات على كمية قليلة من الأنسجة الحية (خاصة الأنسجة المرستيمية)، كما أن دراسة تأثير العناصر والمركبات الكيميائية على الأيض النباتي أصعب بكثير من دراسة تأثيرها على الأيض الحيواني، لهذا يعتمد علماء الأحياء في دراستهم على تقنية المزارع النسيجية Tissue cultures .

تستعمل هذه التقنية لدراسة الخلايا الحية خارج جسم الكائن الحي، إذ يتم تقطيع النسيج الحيواني أو النباتي إلى قطع صغيرة تعامل بأنزيمات خاصة تحللها إلى خلايا مفككة مفردة دون أي تأثير على حيويتها، ثم تزرع كل خلية على حدة في وسط غذائي خاص، وتستمر كل خلية في الانقسام لعدة أجيال قد تزداد في حالة خلايا النبات إذا

تمت إزالة جدار الخلية النباتية بوسائل ميكانيكية أو أنزيمية، كما تستعمل أنسجة الكالوس Callose أو البراعم الجانبية في المزارع النسيجية النباتية، إذ تتكون البادرات -بعد فترة- ويتم نقلها إلى أوساط غذائية خاصة قبل أن يتم نقلها إلى الحقل. وتستعمل «المزارع النسيجية» في الوقت الحاضر لإكثار أشجار النخيل والفاكهة، وقد تمت زراعة أول نخلة في العراق منتجة في مزرعة نسيجية عام 1981. وتجعل هذه التقنية العلماء يتحكمون في جنس النبات المزروع - بدلاً من البذرة التي لا يمكن معرفة جنس النبات الناتج منها إلا بعد زرعها-. ولكن تواجه الباحث مشكلات تقنية متعددة، فكفاءة نمو الأنسجة النباتية تختلف من نبات لآخر، فالنسيج الذي يظهر قابلية للتكاثر الجنيني في نبات معين لا يعني أن له القابلية نفسها للتكاثر في نبات آخر، كما أن العمر الفسيولوجي للنسيج مهم جداً، كما تؤثر نوعية الوسط الغذائي (نوع الأملاح المعدنية أو نوع المصادر الكربونية والنتروجينية أو نوع الفيتامينات أو منظمات النمو) على عملية نمو النسيج، كما يؤثر طول فترة تعرض النسيج للضوء وشدة الإضاءة ودرجة الحرارة وغيرها. يواجه نمو الخلايا الحيوانية صعوبات عديدة تقنية منها كون الوسط الغذائي المستعمل فيها أكثر تعقيداً أولاً، وسهولة تلوث المزارع النسيجية الحيوانية بالبكتريا والفطريات ثانياً، كما أن انعدام الجدار الخلوي في الخلايا الحيوانية يجعل المزارع النسيجية الحيوانية تنمو بصورة غير منتظمة ومعقدة ثالثاً.

لا تستطيع الخلايا الحيوانية المفردة الانقسام لأكثر من خمسين مرة ثم تموت لأسباب غير مفهومة - إلا في حالة حدوث طفرة في بعضها مما يتيح لها الانقسام لفترة غير محددة من الزمن. إلا أن عدد الكروموسومات سيختلف من خلية لأخرى، وهذا النوع من المزارع النسيجية الحيوانية المطفرة كثير الحدوث في تلك المحضرة من خلايا الفأر ولكنه نادر الحدوث في المزارع المحضرة من خلايا الإنسان. وتستعمل المزارع النسيجية الحيوانية في معظم تجارب العقاقير الطبية، ولدراسة الخلايا السرطانية، ودراسة تأثير الفيروسات على الخلايا، ولكن يجب الحذر من تعميم نتائج المزارع النسيجية على الكائن الحي؛ لأن نمو الخلايا فيها يتم خارج الجسم الحي وفي ظروف تختلف تماماً عن كيفية نموها داخل الجسم الحي.

عمليات فصل عضيات ومكونات الخلية:

يجب اختيار النسيج الملائم عند فصل نوع معين من عضيات الخلية عن بقية أجزاء الخلية. ففي حالة إجراء تجارب وبحوث على الماييتوكونديريا، يتم استعمال أنسجة الكبد الغنية بالمايتوكونديريا، بينما تستعمل أنسجة الغدة التيموسية للحصول على الأنوية التي تُكوّن 50% من وزن النسيج التيموسي.

تتم عملية فصل مكونات الخلية على ثلاث مراحل هي:

- 1- مرحلة «التجانس Homogenization» التي تتضمن إزالة التفاصيل المظهرية للخلية من حيث إزالة الغشاء البلازمي للخلية.
- 2- مرحلة «التجزئة أو الفصل Fractionation & Separation» التي يتم فيها فصل عضيات الخلية ومكوناتها، كلاً على حدة.
- 3- مرحلة «فحص وتحليل المكونات Analytical methods» التي يتم فيها فحص وتحليل عضيات ومكونات الخلية لمعرفة الطبيعة النوعية والكمية لعضيات ومكونات الخلية، وأماكن انتشارها في الخلية.

مرحلة التجانس Homogenization

يمكن تعريف التجانس أنه: «عملية إزالة التفاصيل المظهرية الشكلية للخلية بحيث تتحول إلى كتلة متشابهة من البروتوبلازم»، والوصول بالنسيج أو الخلية إلى مرحلة تجانس تام يعني تدمير جميع عضيات الخلية تدميراً تاماً أو شبه تام، وللحيلولة دون ذلك فعلى الباحث:

- 1- تمزيق وتحطيم الغشاء البلازمي (مع جدار الخلية إذا كان النسيج نباتياً) وتحرير العضيات.
 - 2- المحافظة على التركيب المظهري والكيميائي لكل عضية.
- يتم تمزيق وتحطيم الأغشية البلازمية (وجدران الخلايا) باستعمال التقنيات الآتية:
- 1- التقنيات الميكانيكية التي تقوم بتمزيق أغشية الخلايا من خلال وسائل ميكانيكية منها:

أ- الهاون الخزفي mortar & pestel الذي يتم سحق الخلايا به مباشرة، أو خلط الخلايا مع كميات متساوية من الرمل الناعم المعقم أو حبات الزجاج المعقمة ثم سحق الخليط بالهاون الخزفي لتسهيل عملية تكسير الخلايا.

ب- المجنس Homogenizer وهو في أبسط صورة عبارة عن أنبوب زجاجي سميك الجدران يتحرك بداخله وبصورة دورانية مكبس يلامس سطح الأنبوب الزجاجي بإحكام، وتتم السيطرة على حركته باليد أو الكهرباء. ويتم تحطيم الخلايا عند تحريك المكبس إلى الأعلى وللى الأسفل باستمرار.

ج- جهاز الخلط الدوار أو الهزاز Blender، وهو نفس الجهاز المستعمل في البيوت لخلط الفواكه المختلفة وعصرها.

د- جهاز الضغط الخلوي Cell pressure apparatus، ويتكون من أنبوبة فولاذية مجوفة توضع فيها الخلايا والأنسجة، يتحرك بداخلها مكبس فولاذي، وعند تسليط ضغط قوي على الأنبوبة المجوفة، يتم فتح صمام ضيق في نهايتها يسمح للخلايا بالمرور منه إلى الخارج، وسيؤدي تفاوت الضغط الداخلي والخارجي إلى انفجار الخلايا. وتعد هذه الطريقة أفضل الطرق المستعملة لتجانس جميع أجزاء الخلية.

2- التقنيات الأنزيمية التي يتم فيها استعمال أنزيمات لتمزيق غشاء الخلايا ومنها:

أ- استعمال أنزيمات عضوية مذيبة للأغشية البلازمية مثل أنزيمات مذيبة للسيلوز Cellulase أو أنزيمات مذيبة للشحوم Lipases وغيرها.

ب- استعمال مذيبيات عضوية مثل التولوين Toluene و خلاط الاثيل Ethyl acetate وغيرها.

3- تقنيات أخرى، منها:

أ- استعمال الموجات فوق الصوتية Ultrasonic waves لتحطيم الخلايا.

ب- استعمال طرق تجميد الخلايا ثم إذابتها بسرعة لتحطيم أغشيتها البلازمية.

لا توجد طريقة مثلى لتحطيم الخلايا لاختلاف كل خلية عن غيرها، ولهذا فعلى

الباحث تجربة عدة طرق قبل الاقتصار على طريقة واحدة. وتتم المحافظة على التركيب المظهري الفسلجي للعضيات دون مساس عند استعمال الطرق الأنفة الذكر من خلال حماية الخلايا أو الأنسجة بوضعها في محلول يحتوي على تركيز معين من السكروز (5% عادة)، حتى يحيط السكروز بالخلايا مشكلاً طبقة عازلة تؤدي إلى تخفيف شدة عمليات السحق والتكسير، وبحيث تسمح هذه الطبقة بتمزيق الغشاء البلازمي (وجدار الخلية إن وجد) فقط، كما يتم استعمال حامض الستريك acid citric مع السكروز كمحلول عالق للخلايا عند فصل الأنوية، كما يمكن استعمال مزيج من السكريات الثنائية والمتعددة كمحاليل عالقة وحسب طبيعة الخلية.

أخيراً، وبما أن جميع الخلايا تتحلل بدرجة حرارة الغرفة، لذا لا بد من إجراء جميع العمليات المتعلقة بمرحلة التجانس والعمليات التي تلي تلك المرحلة في درجة الصفر المئوي (أو في 4°M) للمحافظة على الخلايا من التلف، وتبريد كافة الأجهزة المستعملة وفق تلك الدرجة.

مرحلة الفصل والتجزئة Separation & Fractionation

يتم فصل عضيات ومكونات الخلية عن بعضها البعض بعد أن يتم تمزق الغشاء البلازمي للخلية، وبما أن هذه العضيات والمكونات تختلف عن بعضها في تركيبها وحجمها وشكلها وكثافتها، لذا يمكن فصلها عن بعضها باستخدام ثلاثة أنواع من تقنيات الفصل هي:

أ- تقنيات الترسيب Centrifugation techniques.

ب- تقنيات الكروماتوغرافيا Chromatographic techniques.

ج- تقنيات الترحيل الكهربائي Electrophoretic techniques.

أ- تقنيات الترسيب Centrifugation techniques

يتم وضع محلول الخلايا الممزقة في أنابيب الطرد المركزي Centrifugal tubes التي يتم وضعها في الجهاز الذي يمكن التحكم بسرعة دوراته في الدقيقة، مما يؤدي إلى ترسب أنواع مختلفة من العضيات والمكونات الخلوية من خلال استعمال عدة أنواع من

السرعة، وتقاس سرعة جهاز الطرد المركزي بعدد الدورات في الدقيقة revolutions per minute أو اختصاراً rpm، وإن تم تفضيل استعمال «قوة الطرد المركزي النسبي Relative Centrifugal Force» أو RCF - علمياً - لقياس سرعة الجهاز؛ وذلك لأن قطر جهاز الطرد المركزي يتحكم في سرعة دورانه أيضاً. وتسمى وحدة «قوة الطرد المركزي النسبي» التي يتم حسابها بوحدات مضاعفة الـ g والتي تمثل قوة الجاذبية، ولهذا يتم حساب RCF كالآتي:

$$RCF = (r) (10 \times 1012) (rpm)^2 (g)$$

حيث :

r = المسافة من مركز الدوران (قطر الدوار Radius of rotor) ويقاس بالسنتيمترات.

rpm = عدد الدورات في الدقيقة.

g = قوة الجاذبية.

10×1012 = رقماً ثابتاً.

ولهذا فعند كتابة RCF فإنها تكتب بالصورة الآتية:

$$RCF = 100000 \times g$$

$$= 100000 g$$

يمكن تقسيم طرق الطرد المركزي - واعتماداً على نوع الجهاز - إلى :

1- الطرد المركزي الاعتيادي Ordinary Centrifugation : وتتراوح سرعة الجهاز ما بين 100-20000 دورة في الدقيقة.

2- الطرد المركزي فائق السرعة Ultracentrifugation : ويمكن أن تصل سرعة الجهاز إلى نحو أكثر من 100000 دورة في الدقيقة مما يجعل في الإمكان فصل أصغر الدقائق عن بعضها.

يمكن تقسيم الطرد المركزي - أيضاً - واعتماداً على الغرض من ترسيب المادة إلى:

1- الطرد المركزي الاستعدادي (الاستحضاري) Preparative Centrifugation الذي يتم فيه استعمال كميات كبيرة من النموذج لغرض فصل مكوناته وتنقيتها.

2- الطرد المركزي التحليلي Analytical Centrifugation الذي يتم فيه استعمال كميات قليلة من النموذج المنقى بالطرد المركزي الاستعدادي «لفرض زيادة تنقيته»، أو للحصول على معلومات أخرى عنه مثل الوزن الجزيئي لمكوناته أو تحديد مدى التغير الشكلي Conformational changes فيه، أو لتحديد مدى نقاوته.

يمكن تقسيم طرق الطرد المركزي -واعتماداً على المحاليل المستعملة فيها- إلى:

أ- الطرد المركزي التفاضلي Differential Centrifugation

يتم ترسيب وفصل جزيئات المحلول المختلفة وبسرع مختلفة -في هذا النوع من الترسيب- اعتماداً على الوزن الجزيئي للجزيئة (كثافتها) وحجمها، وبحيث يتم ترسيب الجزيئات الكبيرة الثقيلة أولاً من خلال استعمال سرع طرد مركزية بطيئة، ثم تترسب الجزيئات الأقل ثقلاً وبسرع طرد مركزية أعلى، وتستمر العملية إلى أن يتم ترسيب أخف الجزيئات بسرع طرد مركزية عالية جداً (شكل 2-1).

تفترض هذه الطريقة أن الجزيئات كبيرة الحجم هي الأكثر كثافة أو وزناً، فضلاً عن أن ترسب الجزيئات الكبيرة سيؤدي إلى ترسب جزيئات دقيقة قد تكون ملتصقة بها، ولهذا لإنجاح هذه الطريقة لا بد من أخذ المادة المترسبة بعد كل عملية، وإعادة ترسيبها وفصلها إلى أجزاء، أي أن كل راسب يُنقى عدة مرات؛ ولهذا يفضل استعمال طرق الطرد المركزي الأخرى -التي شرحها- بدل هذه الطريقة، ولكن الميزة المهمة لهذه الطريقة هي أن الباحث سيستعمل المحلول المراد فصل مكوناته بصورة نقية، ولا يحتاج إلى مزجه بمحاليل أخرى مثل السكروز وكلوريد السيزيوم كما في الطرق الأخرى.

ب- الطرد المركزي متدرج الكثافة Density gradient centrifugation

يمكن تحسين نوعية الجزيئات المترسبة في «الطرد المركزي التفاضلي» باستعمال طريقة «متدرج الكثافة Density gradient» والتي يمكن أن تكون على نوعين:

1- طريقة تدرج الكثافة غير المستمرة Discontinuous (stepwise) density gradient

التي تُحضّر من خلال وضع سوائل ذات كثافة متناقصة في أنبوب جهاز الطرد

المركزي، وبحيث يكون أكثر سائل في قعر الأنبوب (يتم استعمال محلول السكرز -مثلاً- بكثافة تتراوح ما بين 4 - 20٪، وبحيث توضع طبقة من سائل السكرز بكثافة 20٪ في قعر أنبوب الطرد المركزي، ثم توضع فوقها طبقة 16٪ سكرز وهكذا).

2- طريقة تدرج الكثافة المستمرة Continuous density gradient

التي يتم تحضيرها من خلال مزج السائل الكثيف بالسائل الخفيف بجهاز «صنع الكثافة Density maker»، وبحيث يتم مزج السائل الثقيل، ثم يتم وضع سائل متدرج الكثافة المستمرة في أنبوب الطرد المركزي.

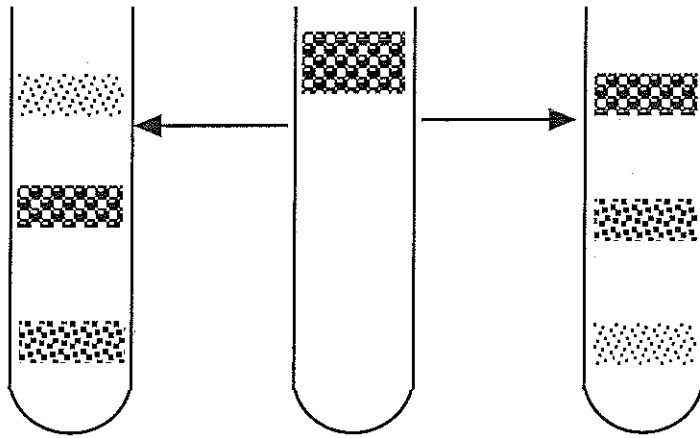
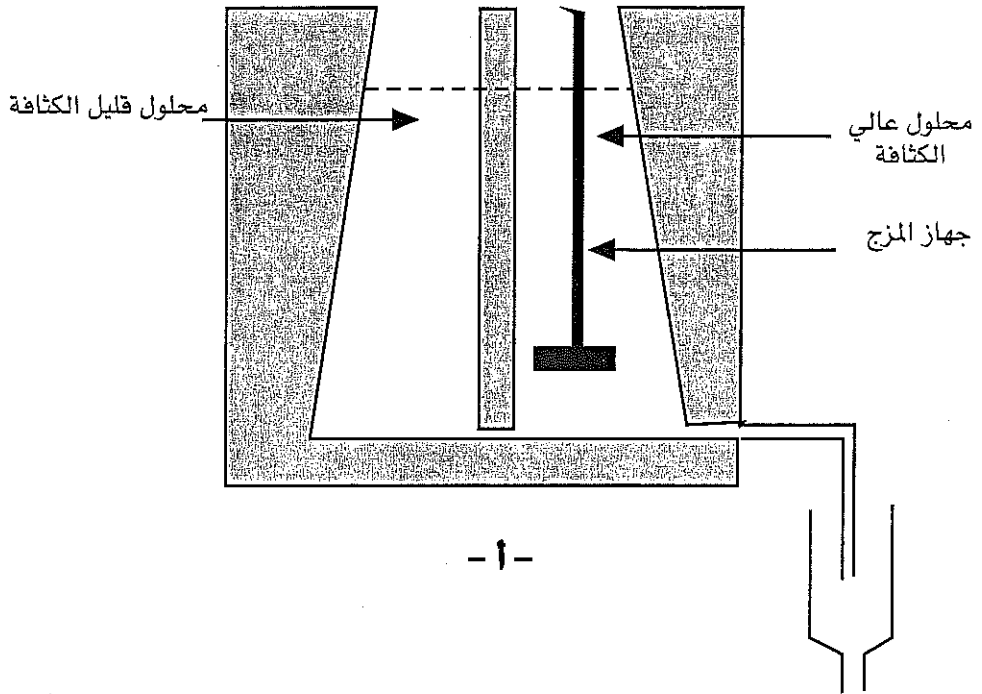
يوضع النموذج المراد فصل جزيئاته أو مكوناته بشكل طبقة في أعلى أنبوب جهاز الطرد المركزي، وستترسب مكونات النموذج - اعتماداً على كثافة كل جزيئة -، فعندما تصل كل جزيئة إلى الموقع المساوي لكثافتها، فإن سرعة الترسيب تصبح صفراً، وبهذا يمكن فصل جزيئات أو مكونات كل نموذج اعتماداً على كثافتها (شكل 2-1). ويتم استعمال محاليل السكرز وكلوريد السيزيوم Cesium Chloride وفيكول Ficoll (مزيج من السكرز وأبي كلورهايدين epichlorohydrin) والداكستران Dextran.

ج- معدل الطرد المركزي Rate Centrifugation

إذا كانت كثافة الجزيئات في النموذج أكبر من كثافة «الكثافة المتدرجة في أنبوب النبد»، فإن الجزيئات ستترسب في النهاية. ولكن إذا تم حساب سرعة جهاز الطرد المركزي ووقت الترسيب بدقة، فإن جزيئات النموذج ستفصل عن بعضها - خلال سائل متدرج الكثافة - اعتماداً على حجمها وكثافتها.

2- الطرد المركزي متكافئ الكثافة Isopycnic Centrifugation

إذا كانت -وخلاف الطرد المركزي النسبي- كثافة السائل متدرج الكثافة في أنبوب الطرد المركزي أكبر من كثافة جزيئات أو مكونات النموذج المراد فصله، فإن هذه الجزيئات ستبقى ثابتة عند وصولها إلى منطقة السائل المساوي لكثافتها في أنبوب الطرد المركزي ولن تترسب إلى الأسفل مهما طالبت مدة الترسيب وسرعته. وفي هذا النوع من الترسيب، يتم مزج النموذج مع السائل متدرج الكثافة مباشرة، ودون الحاجة



شكل (1-2) : أ- جهاز صنع الكثافة. ب- مقارنة بين الطرد المركزي النسبي والطرد متجاذب الكثافة.

إلى وضعه برفق في قمة أنبوب الطرد المركزي؛ ولهذا تُستعمل سوائل لأملاح ثقيلة ذات كثافات عالية لهذا النوع من الترسيب. ويوضح الجدول الآتي المقارنة بين الترسيب النسبي والترسيب متكافئ الكثافة.

الطرد المركزي المتكافئ الكثافة	الطرد المركزي النسبي
يعتمد الترسيب على كثافة الجزيئة فقط.	يعتمد الترسيب على حجم الجزيئة (أولاً)، وكثافتها (ثانياً).
ترسب الجزيئات صغيرة الحجم عالية الكثافة أولاً.	ترسب الجزيئات كبيرة الحجم متوسطة الكثافة أولاً.
ترسب الجزيئات كبيرة الحجم متوسطة الكثافة ثانياً.	ترسب الجزيئات متوسطة الحجم قليلة الكثافة ثانياً.
تبقى الجزيئات متوسطة الحجم قليلة الكثافة في الراشح.	تبقى الجزيئات صغيرة الحجم عالية الكثافة في الراشح.

ولهذا يستعمل النوعان من الترسيب لفصل معظم عضيات ومكونات الخلية، حيث يتم فصل العضيات والمكونات - اعتماداً على حجمها - بالطرد المركزي النوعي، ثم يتم فصل المواد المترسبة اعتماداً على كثافتها بالطرد المركزي متكافئ الكثافة، مما يجعل في الإمكان الحصول على جزيئات نقية تقريباً، وتسمى هذه الطريقة طريقة الترسيب ذي الاتجاهين Two-dimensional centrifugation.

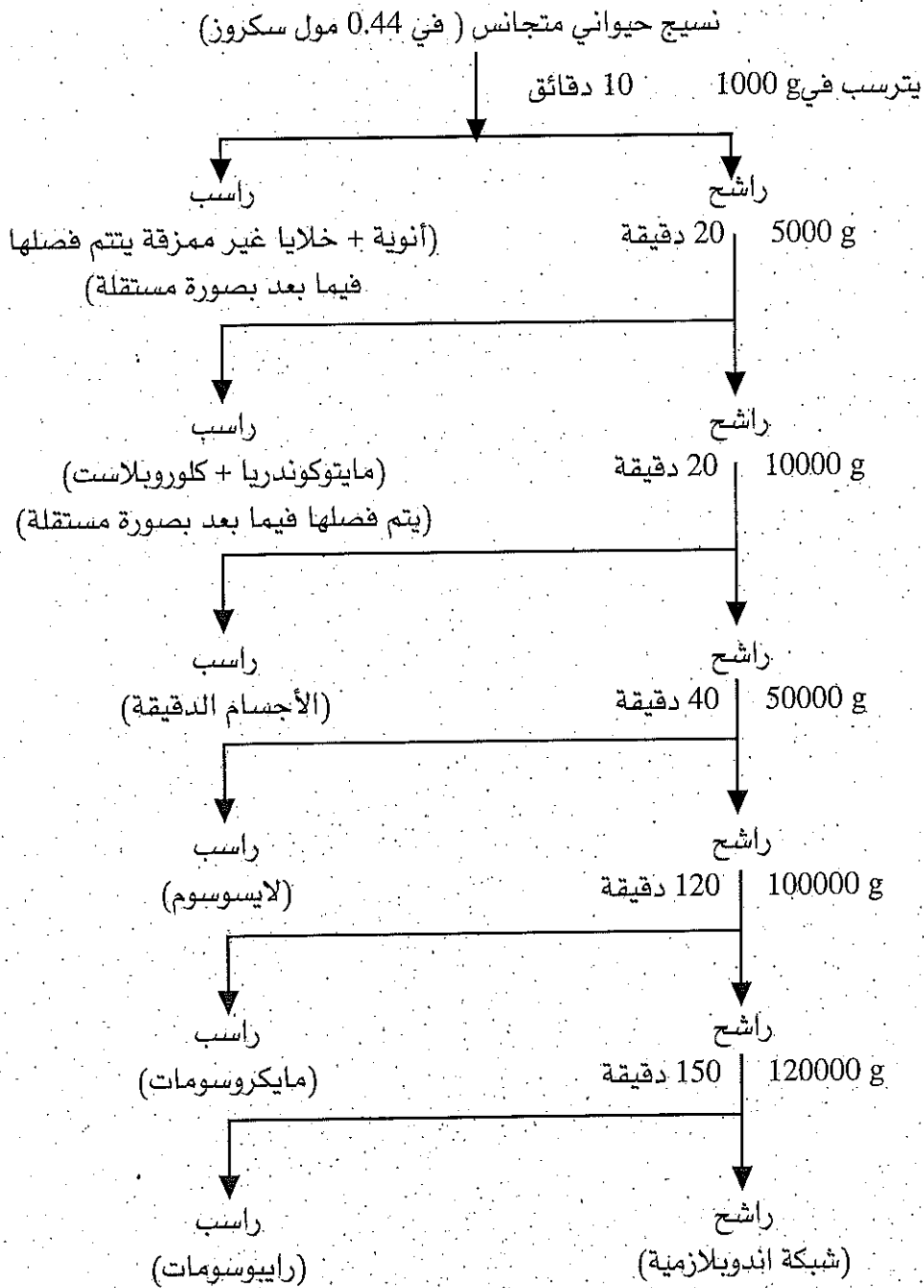
الطرد المركزي النطاقي Zonal Centrifugation

يعد الطرد المركزي النطاقي تقنية جديدة تستعمل بكثرة لفصل كميات كبيرة دون الحاجة إلى استعمال أنابيب الطرد المركزي، فالجهاز الدوار Rotor عبارة عن غرفة اسطوانية كبيرة مجوفة مقسمة بواسطة حواجز عرضية إلى غرف، يعمل كأنبوب ترسيبي واحد، ويمكن سحب المواد المترسبة وإضافة كميات جديدة من المحلول المراد فصله في أثناء عمل الجهاز ومن خلال آلية معقدة مما يُسهل عمل الباحث.

فصل عضيات الخلية ومكوناتها.

تستعمل أجهزة الطرد المركزي فائق السرعة -غالباً- في فصل مكونات الخلية وعضياتها، ويمثل الشكل (2-3) نموذجاً تقليدياً لفصل مكونات خلايا كبد الماشية، إذ تجري العملية كما يأتي:

يتم قتل الحيوان وتشرجه بسرعة، ثم أخذ قطعة من الكبد ووضعها في محلول قياسي يحوي 0.44 مول سكروز و ذي أس هيدروجيني 7.5، ثم يتم تمزيق أنسجة الكبد ومجانستها باستعمال إحدى تقنيات التجانس الميكانيكية أو الأنزيمية التي تم شرحها- والتي تتم في 4م، وبعد تحول النسيج إلى محلول متجانس، يتم وضعه في جهاز الطرد المركزي لمدة 20 دقيقة وبسرعة 1000 دورة في الدقيقة، إذ يتم ترسب جميع الأنوية والخلايا غير المتجانسة والألياف خلال هذه المدة (ويتم فصل الأنوية عن مكوناتها بعد ذلك باستعمال تقنية الطرد المركزي متدرج الكثافة)، ثم يتم أخذ الراشح ويوضع للمرة الثانية في جهاز الطرد المركزي لمدة 20 دقيقة وبسرعة 5000 دورة في الدقيقة لترسيب المايكوكوندريا والكلوروبلاست (الذين يفصلان عن بعضهما باستعمال الطرد المركزي متدرج الكثافة أيضاً)، ثم يتم ترسيب الأجسام الدقيقة من الراشح المتخلف بعد ترسيب المايكوكوندريا والكلوروبلاست بسرعة 10000 دورة في الدقيقة ولمدة 20 دقيقة، وترسيب الاليسوسومات بسرعة 50000 دورة في الدقيقة ولمدة 40 دقيقة، ثم ترسيب المايكروسومات بسرعة 100000 دورة في الدقيقة ولمدة 120 دقيقة، وأخيراً يتم ترسيب الرايبوسومات بسرعة 120000 دورة في الدقيقة ولمدة 15 دقيقة، ويحتوي الراشح المتبقي على الشبكة الإندوبلازمية الحرة وبعض ألياف الهيكل السائيتوبلازمي. بعد انتهاء العملية، يتم إجراء تجارب أنزيمية للتأكد من نقاوة عضيات الخلية المنفصلة عن بعضها، ويمكن إجراء تحورات كثيرة في سرعة الطرد المركزي اعتماداً على نوع الخلية وموقعها. فانوية خلايا كلية الماشية -مثلاً- تترسب بسرعة 500 دورة في الثانية ولمدة عشر دقائق.



شكل (2-2) مخطط يوضح أسلوب فصل مكونات خلايا كبد الماشية وعضياتها باستعمال جهاز الطرد المركزي فائق السرعة.

ب- الكروماتوغرافيا Chromatography

يمكن تعريف تقنية الكروماتوغرافيا بأنها: «عملية فصل مزيج معقد من الجزيئات اعتماداً على وجود مادتين مختلفتين، هما المادة الممتصة (الطور الثابت) التي قد تكون عبارة عن جزيئات صلبة أو جزيئات صلبة مغلفة بجزيئات سائلة، والمادة المذيبة (الطور المتحرك) التي تكون سائلة أو غازية».

يمكن تقسيم الكروماتوغرافيا إلى خمسة أنواع رئيسية - اعتماداً على نوع المادة المستعملة في الطور الثابت وهي:

1- كروماتوغرافيا الامتزاز Adsorption chromatography

يعد أول نوع من أنواع الكروماتوغرافيا المستعملة، ويتكون الطور الثابت من مادة ممتصة صلبة لها القابلية على مسك الجزيئات المراد فصلها على سطحها، خاصة إذا كانت الجزيئات ناعمة ومسامية، بينما يكون الطور المتحرك سائلاً. يمكن استعمال نوعين من أنواع كروماتوغرافيا الامتزاز هما:

أ- كروماتوغرافيا العمود Column Chromatography

يتم وضع مادة ماصة في عمود زجاجي ذي ارتفاع مناسب، ويتم غسل هذه المادة بمحلول الطور المتحرك عدة مرات إلى أن يتشابه الأس الهيدروجيني في الطورين الثابت والمتحرك، ثم يتم وضع المزيج المعقد المراد فصل مكوناته في أعلى العمود، ويتم غسله بمحلول الطور المتحرك، مما يؤدي إلى تحرك الجزيئات غير المتجانسة خلال العمود وبحيث يتم امتصاصها تدريجياً وحسب قابلية كل جزيئة، وإذا كانت هذه الجزيئات ملونة، فيمكن مشاهدة تكون حزم مختلفة من الألوان على طول العمود الزجاجي، ويتم عادة غسل العمود بما يقارب 2-3 من حجمه بالسائل، وتدعى هذه المرحلة مرحلة الغسل Washing stage. ثم تتم إزالة الجزيئات الممتصة داخل العمود تدريجياً من خلال إضافة محلول الطور المتحرك المحتوي على نسبة معينة من الأملاح (مثل كلوريد الصوديوم) والذي يزيل قدرة المادة الممتصة على الامتصاص مما يؤدي بالجزيئات الملتصقة إلى التحرك خلال العمود إلى الخارج، وتسمى هذه المرحلة من العملية «مرحلة الإزالة Elution stage».

ب- كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة Thin-layer Chromatography

تستعمل هذه التقنية، والمسماة اختصاراً TLC، لفصل كميات قليلة من المركبات غير المتجانسة. وتستعمل فيها نفس القواعد المطبقة في كروماتوغرافيا العمود، مع بعض الاختلافات الطفيفة، حيث يتم استعمال مواد ماصة (الطور الثابت) لها القابلية على الالتصاق بالزجاج، أو يتم إضافة مواد إليها -مثل كبريتات الكالسيوم- تساعد على التصاقها بالزجاج، وإن كان معظم الباحثين يستعمل الواح الطبقات الرقيقة المعدة تجارياً في الوقت الحاضر.

يتم وضع اللوح الزجاجي المثبتة عليه المادة الماصة في حوض زجاجي يحتوي محلول الوسط المتحرك - إلى عمق 1.5 سم - ويترك فيه إلى أن يتم انتقال جزيئات المذيب (الوسط المتحرك) إلى أعلى الطبقة الرقيقة - من خلال الخاصية الشعرية -، ثم يتم رفع اللوح الزجاجي ويترك ليجف.

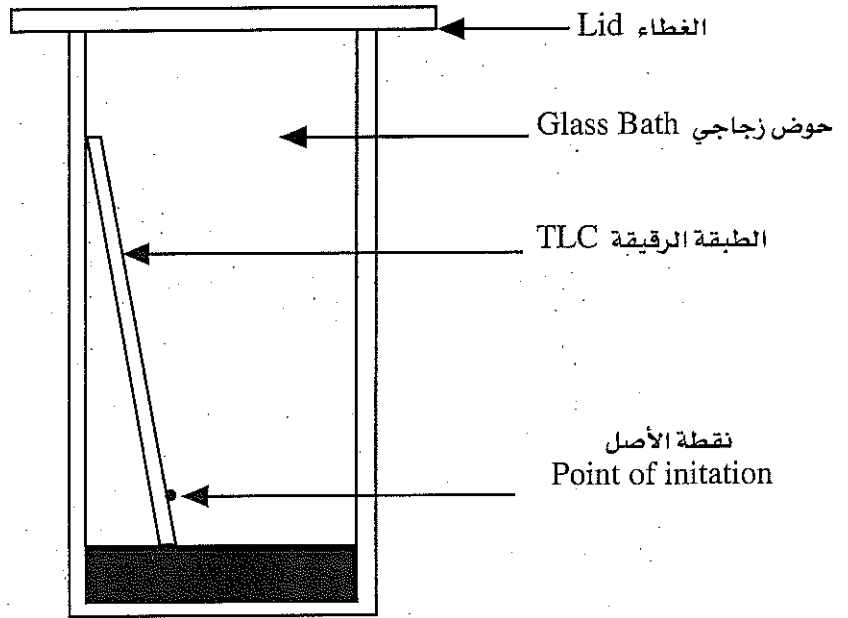
يتم وضع المحلول المراد فصل جزيئاته بوساطة إبرة دقيقة على نقطة تبعد 2.5 سم عن حافة اللوح، وتترك لتجف، ثم يوضع اللوح مرة أخرى في الحوض الزجاجي، ويترك إلى أن يتم وصول جزيئات المذيب إلى النهاية الأخرى من اللوح.

بعد جفاف اللوح للمرة الثانية، تتم المقارنة بين المسافة التي تحركتها الجزيئات المفصولة والمسافة التي تحركها المذيب، علماً أن تحديد المسافة قد يتم بالعين المجردة أو عند تعريض اللوح للأشعة فوق البنفسجية - إذا كانت حركة الجزيئات غير مرئية (شكل 2-3).

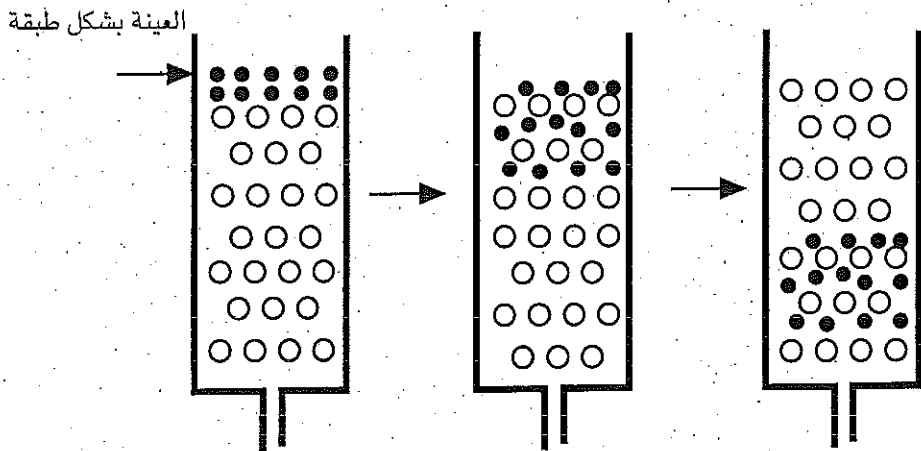
هناك تجارب عدة تستدعي قلب اللوح الزجاجي إلى جهة اليمين ووضعه مرة أخرى في الحوض الزجاجي يحتوي على مذيب آخر (وسط متحرك ثان) لمعرفة المسافة التي ستتحرك إليها الجزيئات المراد فصلها. ويسمى هذا النوع من الكروماتوغرافيا «الكروماتوغرافيا ذات الاتجاهين Two-Dimensional chromatography».

2- كروماتوغرافيا التجزء Partition Chromatography

تعتمد هذه التقنية على معدل انتشار وذوبان المركبات المراد فصلها بين الطورين



شكل (3-2) كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة



شكل (4-2) كروماتوغرافيا الهلام

الثابت (الذي يكون قطبياً) والمتحرك (والذي يكون غير قطبي)، ويكون كلٌّ من الطورين سائلاً، إلا أنه يتم تثبيت الطور الثابت السائل في مكانه بمادة صلبة مسامية مثل ألياف السيلولوز الموجودة في ورق التشريح الاعتيادي، بينما يكون الطور المتحرك سائلاً له القدرة على الامتزاج بالماء مثل الاسيتون والكحول.

تعد «كروماتوغرافيا الورقة - Paper Chromatography-PC» أفضل مثال لهذا النوع من كروماتوغرافيا التجزء، ولا تختلف طريقة استعمال الورقة عن طريقة استعمال «الطبقة الرقيقة TLC»، حيث يوضع المزيج المراد فصله بشكل نقطة على حافة الورقة، ثم توضع هذه الحافة في حوض زجاجي مغمور بمحلول الطور المتحرك، كما يمكن استعمال «كروماتوغرافيا الورقة ذات الاتجاهين».

تم استعمال كل من كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة والورقة لتحديد كمية الأحماض الأمينية ونوعها في بروتين معين، ونظراً لسهولة وتوفر هذين النوعين من الكروماتوغرافيا، فإنهما يستعملان بكثرة في التجارب المعطاة لطلبة الدراسات الأولية.

3- كروماتوغرافيا الغاز - السائل Gas-Liquid Chromatography

يمكن عدُّ هذه التقنية أحد أنواع «كروماتوغرافيا التجزء»، والتي يكون الطور الثابت فيها صلباً والطور المتحرك غازياً. ويحتاج الباحث إلى جهاز خاص وخبرة عالية لاستعمال هذا النوع من الكروماتوغرافيا - الذي يعد شرح تقنيته خارجاً عن موضوع هذا الكتاب - إلا أن هذا النوع من الكروماتوغرافيا يتميز بقابليته العالية على تمييز عدد كبير من المركبات العضوية وتحليلها، وبسرعة تقارب ألف مرة سرعة تقنيات الكروماتوغرافيا السائلة.

كما يستعمل لفصل وتحليل كثير من المركبات المتكونة بالعمليات الحياتية، كما تم استعماله لتحديد مكونات المبيدات الحياتية، لذا يستعمل بكثرة في المستشفيات والمختبرات الصحية التابعة لها.

4- كروماتوغرافيا التبادل الأيوني Ion-exchange chromatography

تعتمد هذه التقنية على فصل جزيئات مزيج معقد التركيب اعتماداً على شحنتها الكهربائية. ويتكون الطور الثابت من مادة صلبة مبلعمة ذات مجاميع مشحونة ومرتبطة

كيميائياً بأيونات متعددة، وبحيث تستطيع تبادل الأيونات مع أيونات الطور المتحرك والذي يكون سائلاً. ويتم استعمال الأعمدة الزجاجية أو البلاستيكية في هذا النوع من الكروماتوغرافيا الذي يعد أكثر التقنيات استعمالاً في العالم.

يتم استعمال هذه التقنية من خلال ملئ العمود بمادة الطور الثابت مثل (Bio-Rex, AG-50, DE-Cellulose, CM-Cellulose وغيرها)، ثم يتم غسلها بسائل مناسب إلى أن تتساوى درجة الأس الهيدروجيني pH في الطورين الثابت والمتحرك، ثم تتم إضافة المزيغ المعقد المراد فصل مكوناته، وعند تحرك جزيئات المزيغ خلال العمود، يتم التبادل الأيوني بينها وبين جزيئات الطور الثابت، فإذا وصلت هذه الجزيئات إلى حالة من التوازن الأيوني فإنها ستبقى ثابتة في العمود، ولا يمكن إزالتها إلا باستعمال محلول ملحي ذي تركيز معين، ولهذا تستعمل هذه التقنية لفصل وتنقية الكثير من الأحماض الأمينية والدهنية والنيوكليوتيدات وغيرها.

5- كروماتوغرافيا ترشيح الهلام Gel-Filtration Chromatography

يتكون الطور الثابت في هذه التقنية من جزيئات هلامية ذات حجم معين ومسامية معينة، بينما يكون الطور المتحرك سائلاً، ويتم فصل جزيئات المزيغ المعقد عند مرورها خلال جزيئات الهلام -الموجودة داخل عمود- اعتماداً على حجمها ومعدل انتشارها بين جزيئات الهلام. وبما أن الجزيئات الصغيرة تنتشر بسرعة خلال جزيئات الهلام المكونة نوعاً من شبكة ثلاثية الأبعاد تشبه «الغريال»، فإن الجزيئات الكبيرة تنفذ أولاً، وتليها الجزيئات المتوسطة الحجم وأخيراً الجزيئات الصغيرة، وتستعمل هذه التقنية -عادة- لتحديد الوزن الجزيئي للكثير من المركبات النقية، كما تستعمل لفصل الأملاح عن بعض المركبات (شكل 2-4).

ج- الترحيل الكهربائي Electrophoresis

تحمل معظم الجزيئات الحياتية المهمة مثل الأحماض الأمينية والبروتينات والحوامض النووية مجموعات أيونية ionizable groups، ولهذا تستطيع أن تكون في السائل جزيئات ذات شحنات كهربائية، سالبة أو موجبة. وتعتمد تقنية الترحيل الكهربائي electrophoresis على حساب معدل هجرة الجزيئات المشحونة في وسط

سائل عندما يتم وضع حقل كهربائي في ذلك السائل، مما يؤدي إلى هجرة الجزيئات سالبة الشحنة إلى القطب الموجب، والجزيئات موجبة الشحنة إلى القطب السالب، وتعتمد سرعة حركة الجزيئات (موجبة أو سالبة) على:

- 1- حجم الجزيئة، فالجزيئات الصغيرة تتحرك أسرع من الجزيئات الكبيرة.
- 2- شكل الجزيئة، فالجزيئات الدائرية تتحرك أسرع من الجزيئات المستطيلة.
- 3 - قوة المجال الكهربائي التي تعتمد على العلاقة بين التيار الكهربائي A (المقاس بالأمبير) والفولتية V (المقاسة بالفولتات) والمقاومة W - أوميكا- (المقاسة بالأوم) حسب المعادلة التالية:

$$\frac{\text{الفولتية}}{\text{المقاومة}} = \text{التيار}$$

- 4- تركيب المحلول القياسي buffer الكيمياوي.
 - 5- تركيز المحلول القياسي.
 - 6- الأس الهيدروجيني pH للمحلول القياسي.
 - 7- نوع المادة الساندة (ورق، نشأ، هلام) ومدى امتزازها للجزيئات، فالامتزاز السريع قد يعرقل أو يبطئ حركة الجزيئات المهاجرة.
 - 8- الخاصية المنخلية Molecular sieve للمادة الساندة، فاستعمال الهلام Gel كمادة ساندة أفضل من استعمال الورق لكثرة مساماته مما يساعد على فصل الجزيئات المهاجرة عن بعضها البعض.
- تستعمل أجهزة خاصة لأغراض الترحيل الكهربائي إلى أنواع متعددة (يعد شرحها خارجاً عن موضوع الكتاب) منها:
- 1- الترحيل الكهربائي المستمر.
 - 2- الترحيل الكهربائي غير المستمر.
 - 3- الترحيل الكهربائي ذو الفولتية العالية.
 - 4- الترحيل الكهربائي المناعي.

اختيار طرق الفصل المختلفة:

يعتمد اختيار فصل مزيج معقد من الجزيئات على نوع الجزيئات المكونة لذلك المزيج، فيعتمد الباحث أحياناً إلى استعمال طرق الترسيب، ثم الكروماتوغرافيا، وأخيراً الترحيل الكهربائي للحصول على مركب مكون من جزيئات متشابهة. وأحياناً يلجأ إلى استعمال الترسيب بأنواعه أو الكروماتوغرافيا بأنواعها -فقط- للحصول على مركب نقي.

طرق التحليل Analytical Methods

تستعمل هذه الطرق لتحليل طبيعة المواد المنقاة بواسطة طرق الفصل، ومعرفة مدى انتشارها داخل الجزيئات الحياتية، كما تستعمل لمعرفة وتحليل الانظمة الكيموحياتية داخل الخلية، ومن هذه الطرق:

1- تقنيات أطياف الامتصاص.

2- تقنيات استعمال النظائر والمواد المشعة.

تقنيات أطياف الامتصاص Spectroscopic techniques

تعتمد هذه التقنيات على قابلية الجزيئات على امتصاص الضوء بدرجات مختلفة، فعندما يصطدم الضوء بها فإنها ستقوم بامتصاص طول موجي معين، بينما سيتم بعثرة الأمواج المتبقية، وتتهيج الجزيئة الماصة للضوء (طاقة) مما سيؤدي بها إلى الاصطدام بغيرها من الجزيئات وانبعاث الألكترونات بشكل شعاع ألكتروني.

تستعمل أنواع عدة من الأجهزة التي تقوم بقياس مدى امتصاص الضوء، ويتكون الجهاز «أو المطياف» بصورة غامة من مصدر للضوء (المرئي أو فوق البنفسجي أو تحت الحمراء) يليه محلل الحزمة الضوئية والذي لا يسمح بمرور أكثر من طول موجي واحد، وتليه الخلية *cuvette* التي تحتوي على الجزيئات المراد معرفة مقدار امتصاصها للضوء، وأخيراً أجهزة لقياس كمية الضوء الممتص، وتوجد تحيزات خاصة في كل جهاز لتلائم طبيعة ذلك الجهاز. ويمكن تقسيم الأجهزة التي تقيس درجة الامتصاص إلى أنواع كثيرة منها:

1- مطياف الضوء المرئي Visible spectrophotometer الذي يقيس امتصاص الجزيئات للضوء المرئي ما بين 400-400 نانوميتر.

2- مطياف الضوء فوق البنفسجي Ultraviolet spectrophotometer الذي يقيس امتصاص الجزيئات للضوء المرئي ما بين 200-400 نانوميتر. بواسطته يمكن معرفة وجود البروتين في محلول معين لأن البروتين يمتص الأشعة فوق البنفسجية بطول 280 نانوميتر، بينما تمتصها الحوامض النووية بطول 260 نانوميتر.

3 - مقياس الامتصاص الفلوري Spectrofluorimeter الذي يستعمل لقياس ظاهرة تفلور بعض الجزيئات، إذ تستطيع بعض الجزيئات امتصاص إشعاع بطول موجي معين، ثم تبث ذلك الإشعاع بطول موجي أطول. ويستعمل لقياس التراكيز الضئيلة من المواد التي لا يمكن قياسها بالجهازين السابقين.

4- مطياف الأشعة تحت الحمراء Infra-red spectrophotometer والذي يستعمل لقياس كمية وأماكن وجود الجزيئات الحياتية الكبيرة والأغشية البلازمية الماصة للأشعة تحت الحمراء.

5- مطياف اللهب Flame spectrophotometer الذي يستعمل في كثير من المختبرات الطبية والمستشفيات لتحليل وجود وكمية أكثر من عشرين عنصراً في النماذج الحياتية (البول والدم والغائط)، ويستطيع تقدير كمية كل من الكالسيوم و المغنيسيوم و المنغنيز والخاصين والثاليوم والاندسيوم بصورة مباشرة، بينما يكشف عن النحاس والحديد والزنك بصورة غير مباشرة

6- مطياف رامان Raman Spectrophotometer الذي يستعمل بصورة أساسية في الأبحاث المتعلقة بتركيب الجزيئات العضوية ذات الحجم المتوسط.

7 - مقياس الرنين الدائري الإلكتروني Electron Spin Resonance- (ESR) Spectrometer- الذي يستعمل لدراسة البروتينات المعدنية Metalloproteins لا سيما المحتوية على عنصر مولبديوم (مثل Xanthine oxidase) وعنصر الخاصين (مثل أنزيمات الخاصين الزرقاء) وعنصر الحديد (مثل سنايتوكروم س).

8 - مقياس الرنين النووي المغناطيسي Nuclear Magnetic Resonance- (NMR) Spectrometer الذي يستعمل لدراسة تركيب الجزيئات العضوية البسيطة التي لها أهمية خاصة في مناعة الجسم (مثل الأجسام المضادة)، ولتحديد أماكن ارتباط هذه الجزيئات مع بعضها.

9 - مقياس الرنين المزدوج النووي الألكتروني (ENDOR) Electron Nuclear- Double Resonance Spectrometer وهو جهاز جديد يجمع بين خواص (ESR) وخواص (NMR) معاً.

10 - مقياس الطيف الكتلي Mass Spectrometer الذي يستعمل لدراسة الطرق الأيضية للخلية، ولمعرفة التركيب الجزيئي لمكونات الخلية.

تقنيات النظائر المشعة Redioisotopes techniques

تعتمد هذه التقنيات على وجود النظائر isotopes التي هي أحد أشكال العناصر وتحوي العدد نفسه من البروتونات والألكترونات، ولكنها تختلف في عدد النيوترونات، فالعدد الذري لعنصر الكربون هو 12، أي إن الكربون يحوي 6 بروتونات و 6 إلكترونات، وعدد النيوترونات في عنصر الكربون الطبيعي هو 6 أيضاً، ولكن نظير الكربون يحوي 7 نيوترونات مما يجعل وزنه الذري 13 بدلاً من 12، ولهذا يدعى نظير الكربون «الكربون الثقيل»، وتدعى جميع النظائر «العناصر الثقيلة» Heavy metals. ويجب التأكيد على أن خواص الكربون الثقيل لا تختلف عن خواص الكربون الطبيعي لأن عدد الإلكترونات والبروتونات لم يتغير، ولكن إضافة نيوترون إلى مركز نواة ذرة الكربون يسبب -أحياناً- عدم ثبات النواة، خاصة إذا تمت إضافة نيوترون جديد إلى ذرة الكربون مما يجعل عدد النيوترونات 8، والوزن الذري للكربون 14. ويسمى الكربون 14 أو C14 نظيراً مشعاً Radioisotopes؛ لأن نواة العنصر المشع غير ثابتة مما يؤدي إلى انبثاق جزيئات ألفا أو بيتا أو كاما منها لتتحول الذرة المشعة غير الثابتة إلى ذرة طبيعية ثابتة. ويعد نوع الإشعاع المنبعث ومعدل انبعاثه من خواص النظير المشع، ويتم قياس معدل الإشعاع بـ «نصف الحياة half-life» الذي يمكن تعريفه بـ «المدة التي يستغرقها النظير المشع لفقدان نصف إشعاعه»، أي نصف المدة التي يستغرقها للتحويل إلى عنصر مشع (جدول 2-1). وتعمل النظائر «دليلاً trace» في التجارب الأحيائية - لا سيما الوراثة منها-، ويعتمد استعمال أي نظير على خواصه الفيزيائية والكيميائية. وتستعمل عدة أجهزة لقياس كمية النظائر المشعة داخل الخلية منها:

1- عداد كير Geiger Counter.

2- عداد وميض السائل Liquid Scintillation Counter.

جدول (1-2) : صفات النظائر الأكثر استعمالاً

العنصر	النظير	نصف العمر	نوع الجزيئة المنبعثة
الهيدروجين	^3H	12 سنة	B
الكربون	^{14}C	5700 سنة	B
النيتروجين	^{15}N	10 دقائق	B
الأوكسجين	^{18}O	2.0 دقيقة	B
الصوديوم	^{24}Na	15 ساعة	B
الفوسفور	^{32}P	14 يوم	B
الكبريت	^{35}S	88 يوم	B
البوتاسيوم	^{40}K	1.2×10^9 ساعة	BIY
	^{42}K	12 ساعة	BIY
	^{43}K	23 ساعة	BIY
الكالسيوم	^{45}Ca	165 يوم	B
اليود	^{125}I	60 يوم	BIY
	^{131}I	8 يوم	BIY

الإشعاع:

أنواع الإشعاعات:

يمكن تقسيم الإشعاع المنبعث من النظائر المشعة إلى ما يأتي:

(1) جزيئات ألفا α - particles

التي تتكون من نوى عنصر الهليوم موجبة الشحنة المكونة من نيوترونين وبروتونين، والمنبعثة بسرعة كبيرة من نوى العناصر الثقيلة المشعة مثل الراديوم والرادون.

(2) جزيئات بيتا β - particles

التي تتكون من إلكترونات سالبة الشحنة تنبعث بسرعة كبيرة من نظائر مشعة ذات طاقة واطئة مثل الكربون والهيدروجين.

(3) جزيئات كاما Y-particles

التي تتكون من بروتونات بطيئة الحركة تتبع من نوى النظائر المشعة، وليس لها تأثير مهم على الكائن الحي يعكس جزيئات ألفا وبيتا.

نظريات الإشعاع

(1) نظرية الهدف Target Theory

وضع كروثر وديسور J.A. Ciowther and F. Dessauer اضرار الاشعاع على الخلايا في نظرية الهدف عام 1924 والتي تتلخص بالآتي:

«يوجد موقع أو أكثر في داخل كل خلية يسمى بالهدف، إذ أن تعرض أي من هذه الأهداف إلى الإشعاع بصورة مباشرة أو غير مباشرة يؤدي إلى إحداث طفرة وراثية أو أكثر لهذه الخلية».

(2) النظرية الكيميائية Chemical Theory

اقترح كونكر Conger نظريته الكيميائية عام 1961 التي تتلخص بما يأتي:

«تمتص بعض جزيئات الخلية الإشعاع الساقط عليها مما يؤدي إلى تكوين جذور كيميائية Chemical radicals ذات طاقة عالية تؤثر بدورها على الجزيئات الكبيرة الحيوية في الخلية مما يؤدي إلى حدوث طفرات وراثية».

(3) نظرية تعاقب الأحداث Sequence of events Theory

اقترح بيك والكسندر Beeg and Alexander نظرية تعاقب الأحداث عام 1961 والتي تجمع بين النظريتين السابقتين، وتتلخص فيما يأتي:

«يتم امتصاص الإشعاع من قبل بعض جزيئات الخلية مما يسبب تأنيها (أو تهيجها) وذلك يؤدي إلى حدوث تغير في تلك الجزيئات بصورة مباشرة أو غير مباشرة، كما إن هذه الجزيئات المتأينة ستؤثر بدورها على جزيئات مجاورة لها، مما يؤدي إلى حدوث سلسلة متعاقبة من الأحداث التي تنتهي بالطفرة الوراثية».

تأثير الإشعاع:

عند تعرض الكائن الحي للأشعة السينية X-rays الناتجة عن النظائر المشعة، فإن

جزيئات الفا وبيتا - وبنظرية تعاقب الأحداث - ستخترق خلايا الجسم إلى أعماق بعيدة (نظراً لطاقتها العالية)، مما يؤدي إلى اصطدامها ببعض الذرات المكونة لخلايا الجسم محررة ألكتروناتها التي ستؤدي بدورها إلى إحداث العديد من التفاعلات الكيميائية التي تؤثر على الحامض النووي معدوم الأوكسجين (DNA)، مما يؤدي إلى تأثر كروموسومات الخلية بصورة مباشرة أو غير مباشرة، مما يؤدي إلى إحداث طفرات وراثية.

يتم قياس درجة الإشعاع بوحدات عديدة منها:

- (1) راد Rad التي تساوي كمية الطاقة الممتصة لكل غرام من الهدف.
 - (2) رونتنجن (R) Roentgen التي تساوي إنتاج 2.083×10^9 زوج من الأيونات في السنتمتر المكعب الواحد من الهواء في درجة الصفر المئوي وتحت ضغط 760 ملم زئبق، وتستعمل لقياس مقدار الإشعاع.
 - (3) كوري (Ci) Curie التي تساوي مقدار تحلل غرام واحد من الراديوم في الثانية (3.7 $\times 10^{10}$ لكل ثانية) ويقاس بها مقدار المواد المتحللة إشعاعياً، ولكن هذه الوحدة كبيرة جداً، ولهذا يتم استعمال مايكرو كوري uci بدلاً عنها.
- مضار الإشعاع:

يعتمد تأثير الإشعاع على عوامل متعددة أهمها: نوع المادة المنتجة للإشعاع، ودرجة الاختراق، وكثافة التأين، ونوع الموقع الذي تسقط عليه الأشعة داخل الخلية، ومقدار حيوية الخلايا الحية المعرضة للإشعاع. وبصورة عامة تعد جرعة اشعاع بمقدار 50 رونتنجن مميتة لـ 5% من خلايا الإنسان، وجرعة 100 رونتنجن مُمْرِضة للإنسان، بينما تعد جرعة 400 رونتنجن مميتة للإنسان، وتعرض الإنسان إلى 400 رونتنجن دفعة واحدة يسبب الموت له، كما إن التعرض إلى عشرين جرعة مقدار كل جرعة 20 رونتنجن خلال 10 - 15 سنة يسبب الموت للإنسان - أيضاً - بسبب ظاهرة التجمع Cumulation، حيث لا يمكن إزالة المواد المشعة الموجودة داخل الخلية مهما كان تركيزها قليلاً؛ ولهذا فعند استمرار تعرض الخلية الحية للإشعاع فإن تركيز المواد المشعة يزداد باستمرار إلى أن يصبح التركيز عالياً إلى درجة تحدث فيها «طفرة وراثية» داخل الخلية، علماً أن للخلية

الحياة مقدرة معينة على التخلص من أضرار الإشعاع لا سيما إذا كانت الفترات بين جرعات الإشعاع كبيرة إلى حد ما .

مراجع الفصل الثاني

- Amos, L.A. et al. ,Prog, Biophys.Mol, Biol. 39 (1982) 183.
- Beer, M. et al, Ultramicroscopy, 8 (1982) 207.
- Branton, D. and Kirchanski, S., J. Microsc., 111 (1977) 117.
- Carleman, E. and Kellenberg, E., EMBO J., 1 (1982)63.
- Coslett, V.E., Trends in Biochem. Sci, 101(1985)361.
- Hoppe, W., Annu. Rev. Biophys Bioeng., 10(1981)563.
- Horne, R.W., J. Microsc. 113 (1978)241.
- Inoue, S., J. Cell Boil., 89(1981)346.
- Mazurkiewicz, J.E., J. Histochem. Cytochem., 20(1972) 969.
- Orci, L. et al, J. Ultra. Res., 35 (1971)1.
- Pangborn, J. et al, Arch. Microbiol., 113 (1977)197.
- Ravazzola, M. and oric, L., Rev. Cellulaire, 28 (1977)137.
- Roth, J., Cytochem. 30(1982)691.
- Sleytr, U.B. and Robards, A.W., J. Microsc., 111 (1977)77.
- Stumpf, W.E., J. Histochem. Cytochem., 29 (1981) 107.
- Tanaka, K., Int. Rev. Cytol., 68(1980)97.
- Taylor, D.L. and Wang, Y., Nature, 284(1970)405.
- Woese, C.R., Sci. Amer., 244(1981)98.
- Ryan, C., Cell Biology, 1995, Mc Graw- Hill Ltd., USA.

الفصل الثالث

المجهرية Microscopy

- المجاهر الضوئية وأنواعها
- العلاقة بين قوة التكبير وقدرة الميز
- طرق تحضير نماذج المجهر الضوئي
- المجهر الإلكتروني وأنواعه
- المجهر الإلكتروني النافذ
- تحضير نماذج المجهر الإلكتروني النافذ
- آلية إظهار صورة النموذج
- (1) الأصباغ
 - الصباغ السالب
 - الصباغ الموجب
 - التصوير الإشعاعي الذاتي
- (2) التظليل
- (3) طريقة النسخة المطابقة
- (4) طريقة النقطة الحرجة
- (5) طريقة كلينشمدت
- المجهر الإلكتروني الماسح
- الصعوبات المواجهة للمجهر الماسح

المجهرية

Microscopy

البصر هو الحاسة الغالبة على الإنسان الذي تأتي معرفته للعالم من خلال الرؤية، وما العدسات المكبرة والمجاهر على اختلاف أنواعها - إلا امتداد لتلك الحاسة الهامة من حواس الإنسان. ولا يختلف أحد في أن اختراع المجهر الضوئي كان من أعظم الإنجازات البشرية في تاريخ الحضارة الإنسانية، فمن خلاله تم اكتشاف الخلية وحدة بناء الكائن الحي، واكتشاف ودراسة الكائنات وحيدة الخلية، والبكتيريا، والكروموسومات، وغيرها، فضلاً عن أنه ساعد على فهم عمل الأنسجة والأعضاء وكيفية نموها؛ مما جعل العلوم الطبية والحياتية تتقدم تقدماً ملموساً خلال المائة سنة الماضية.

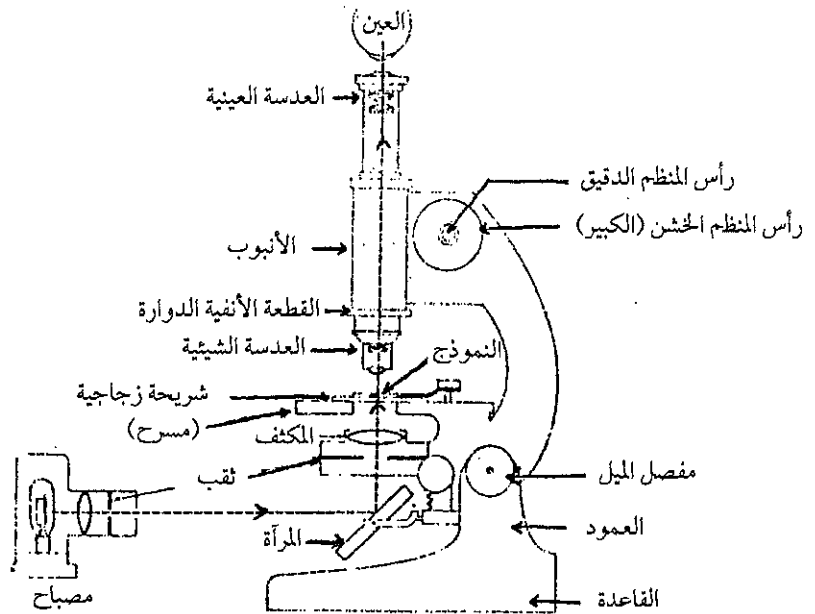
أ) المجاهر الضوئية Light Microscopes

هناك أنواع متعددة من المجاهر الضوئية أهمها:

1) المجهر الضوئي البسيط Simple light Microscope

يتكون المجهر الضوئي البسيط من عدستين محدبتين، هما العدسة الشيئية Objectives lens التي تقوم بتكبير النموذج المضيء لتكوين صورة حقيقية مقلوبة، والعدسة العينية Ocular or Eye lense التي تكبر الصورة المقلوبة إلى صورة خيالية معتدلة، كما يحوي على عدسة مركزة للضوء المكث Condenser والتي تركز الأشعة الضوئية - سواء كانت من مصدر طبيعي أو صناعي - على النموذج المراد رؤيته لإضاءته بصورة جيدة (شكل 1-3).

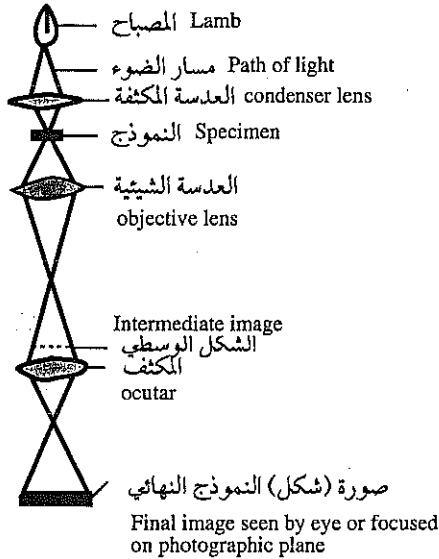
لقد واجه استعمال المجهر الضوئي الكثير من المشكلات، أهمها وجود أنواع مختلفة من الزيغ، الذي يمكن تعريفه بأنه: «انعدام تركيز الأشعة الضوئية الناتجة من نقطة معينة من النموذج المراد رؤيته في بؤرة العدسة مما يمنع وضوح الرؤية»، إضافة إلى قصور قوة تكبير وتمييز المجهر الضوئي.



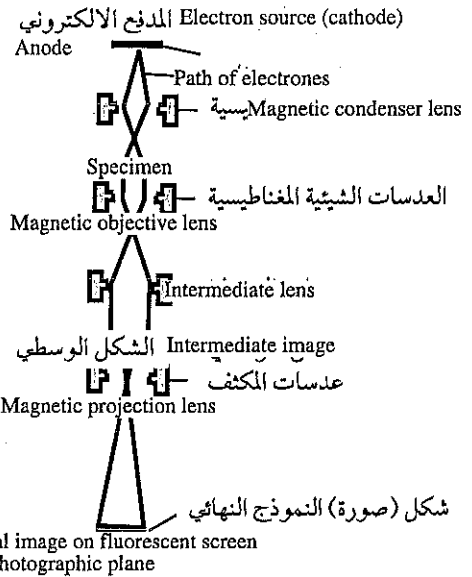
Light microscope

Electron microscope

المجهر الضوئي



المجهر الإلكتروني



شكل (1-3) : أ- رسم تخطيطي للمجهر الضوئي.

ب- رسم تخطيطي للمقارنة بين المجهر الضوئي والمجهر الإلكتروني.

(2) المجهر الضوئي المركب Compound light Microscope

يشابه المجهر الضوئي البسيط في تركيبه عدا احتوائه على عدستين عينية بدلاً من عدسة عينية واحدة.

(3) مجهر تباين الطور Phase Contrast Microscope

يستعمل في دراسة الخلية الشفافة للضوء التي لا يمكن رؤيتها بالمجهر الضوئي البسيط، ولكن وجود حجاب حلقي تحت المكثف إضافة إلى وجود «صفحة تباين» في العدسة الشيئية، يؤدي إلى تكوين فروق في الموجات الضوئية تتحول إلى فروق في شدة الضوء، مما يؤدي إلى زيادة ملحوظة في تباين المناطق المختلفة في النموذج، وهذا يؤدي إلى ظهور بعض المناطق في النموذج بحالة أغم أو أفتح من غيرها.

(4) المجهر التداخلي Interference Microscope

يستعمل في دراسة الخلية الحية الشفافة للضوء -أيضاً- ولكنه يختلف عن مجهر تباين الطور من خلال توليده لأشعته التداخلية بنفسه، حيث يتجزأ الضوء المنبعث من المصدر الضوئي بواسطة صفيحة توضع فوق المكثف إلى حزمتين، تمر إحداهما خلال النموذج وتمر الحزمة الثانية من جانبه، ثم تلتقي الحزمتان وتتداخلان مع بعضهما، مما يؤدي إلى تكوين الصورة. ويستعمل المجهر التداخلي (أو مجهر تداخل الطور، كما يسمى أحياناً) لقياس الوزن الجاف للنموذج، وكذلك لحساب سمك النموذج تحت الفحص.

(5) مجهر تباين وتداخل الطور لنور ماسكي Normaski Interference-Contrast Microscope

يحتوي المجهر على مخروط prism خادس له معامل انكسار ثنائي تحت العدسة الشيئية، إضافة إلى وجود مرشحين filters أخذهما مستقطب والآخر محلل فوق المكثف، مما يجعل صورة الخلية الحية أوضح، لهذا يتم استعمال هذا المجهر لدراسة الخلايا أثناء أطوار انقسامها.

(6) المجهر التألقي Fluorescence Microscope

يتم استعمال ظاهرة التألق Fluoresence (وهي ظاهرة انبعاث ضوء مرئي من بعض

المواد الكيماوية عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية) في هذا النوع من المجاهر لرؤية تفاعلات الأجسام المضادة، ولهذا تطلّى النماذج بمواد كيماوية مثل فلوريسين Fluorocein أو رادومين Rhodamine عند تعرضها للأشعة فوق البنفسجية. ولكن يتم وضع مرشح للأشعة فوق البنفسجية أمام العدسة العينية لامتصاص جميع هذه الأشعة الخطرة على العين ليتمكن مشاهدة النماذج بصرياً.

(7) مجهر الحقل المظلم Dark-Field Microscope

يتم استبدال المكثف الاعتيادي في المجهر الضوئي الاعتيادي بآخر يعمل على اضاءة الهدف بصورة مائلة أو غير مباشرة، مما يؤدي إلى جعل حقل المجهر غامقاً، وتبدو النماذج كبقع مضيئة.

(ب) مجهر الأشعة فوق البنفسجية Ultra Violet Microscope

يتم استعمال الأشعة فوق البنفسجية (التي يتراوح طيفها الموجي بين 210-330 مليمايكرون) كمصدر ضوئي لمجهر الأشعة فوق البنفسجية لأسباب عدة، منها:

- (1) قصر الطيف الموجي للأشعة مما يؤدي إلى زيادة قدرة ميزها.
- (2) استعمالها للقياس الكمي لمكونات الخلية الكيماوية.
- (3) استعمالها لرؤية الخلية الحية غير المصبوغة، لا سيما أن بروتينات الخلية تمتص هذه الأشعة في منطقة الطيف الموجي 330 مليمايكرون، وتمتص الأحماض النووية هذه الأشعة في منطقة الطيف الموجي 260 مليمايكرون، مما يجعل في الإمكان تمييز الكروسومات والعضيات.

يعاني استعمال مجهر الأشعة فوق البنفسجية من صعوبات تقنية عدة، أهمها:

- (1) تتم صناعة جميع عدسات المجهر من الكوارتز المصهور بدلاً من الزجاج، وذلك لأن الزجاج يمتص الأشعة فوق البنفسجية.
- (2) لا يمكن رؤية النماذج بالعين مباشرة، وذلك للأثر المميت لهذه الأشعة على الخلايا الحية، ولهذا يتم التقاط الصور بواسطة كاميرات خاصة أو نقلها بواسطة أنبوب التقاط تلفزيوني.

العلاقة بين قوة التكبير وقدرة الميز

Relationship between Magnifying and Resolving powers

تُقدر قوة تكبير أي مجهر بنسبة «قطر النموذج المرئي إلى قطره الحقيقي»، فقوة التكبير $400\times$ ، تعني أن قطر النموذج المراد رؤيته قد ازداد 400 مرة. وتتراوح قوة تكبير المجهر الضوئي بين 25 إلى 1500 مرة، ولكن قدرته الميزية (قوته التمييزية) تقل بزيادة قوة التكبير. ويمكن تعريف قدرة الميز بأنها: «المقدار الذي تتعين به مقدرة آله بصرية على تمييز جسمين متقاربين»، ولكنها تتناسب عكسياً مع طول الموجة الضوئية، لأن صورة النموذج المتكونة هي صورة ناتجة عن انكسار الموجات الضوئية المارة عبر النموذج. وكلما قصر طول الموجة الضوئية ازدادت إمكانية انحرافها عند اصطدامها بالأجسام الدقيقة مما يزيد في إمكانية رؤيتها، وهذا يؤدي إلى زيادة قدرة ميز المجهر. ولكن الموجات الضوئية الطويلة لن تتحرف إلا عند اصطدامها بأجسام كبيرة نسبياً، وستمر بسهولة من خلال الأجسام الدقيقة مما سيؤدي إلى بقائها غير مرئية. ومن هنا فإن طبيعة الضوء هي المحددة للتفاصيل الممكن رؤيتها في المجهر الضوئي، ولهذا فعند زيادة قوة تكبير المجهر الضوئي فوق النحد الأقصى (1500 مرة) سيظهر أجساماً كبيرة غير محددة التفاصيل، ومثل ذلك كمثال الشخص الذي يحاول رؤية تفاصيل صورة منشورة في إحدى الجرائد بعدسة مكبرة دون فائدة، ففي المجهر الضوئي، يحدد طول الموجة تفاصيل الجسم، وفي الجريدة يحدد عدد النقاط في السنتيمتر الواحد من الصورة تفاصيل تلك الصورة. علماً أن قدرة المميز Power Resolving لا تعتمد على طول الموجة الضوئية فقط، وإنما على مدى انحراف الموجات الضوئية، فكلما ازداد بعد النموذج عن العدسة الشيئية قلت زاوية انحراف الموجات الضوئية، مما سيؤدي إلى ضعف قدرة المميز، وكلما اقتربت العدسة الشيئية من النموذج زادت زاوية الانحراف، مما سيؤدي إلى تحسين قدرة المميز. وتتأثر هذه القدرة -أيضاً- بمعامل انكسار Reflection index المحيط الفاصل بين النموذج والعدسة الشيئية (والذي يرمز له بالحرف n) والذي يكون غالباً الهواء والبالغ معامل انكساره 1، أو الماء (معامل انكساره 1.33)، أو الزيت (معامل انكساره 1.53)، أو مادة برومونفثالين الأحادي Monobromonapthalene (معامل انكساره 1.66) التي تستعمل أحياناً لزيادة قدرة ميز

المجهر والتي يمكن حسابها حسب المعادلة الآتية:

$$\frac{0.6 \text{ ل}}{\text{ق}} = \text{م جب آ}$$

بحيث: ق - قدرة الميز.

ل = طول الموجة الضوئية المستخدمة.

م = معامل الانكسار

جب آ = جيب زاوية الضوء المنحرف المقابل للوتر.

0.6 = ر قمأ ثابتاً يجب استخدامه لأسباب لا مجال لشرحها لأنها خارج موضوع الكتاب.

ويمكن تعويض «م جب آ» بمقدار فتحة العدسة الشيئية أو «الثقب العددي» (ث.ع) الذي يعادلها حسابياً والذي يمكن رؤيته محفوراً على حافة كل عدسة، وبهذا تصبح المعادلة بالشكل الآتي:

$$\frac{0.6 \text{ ل}}{\text{ث.ع}} = \text{ق}$$

وفي حالة استبدال حروف المعادلة بأرقام حقيقية لحساب قدرة الميز، فإن طول موجة الضوء المرئي هي 0.5 مايكروميتر، وأفضل مقياس لثقب عددي لعدسة شيئية هو 1.6، ولهذا ستعادل قدرة الميز حوالي 0.2 مايكروميتر، مما يعني عدم استطاعة المجهر الضوئي نظرياً التمييز بين نقطتين البعد بينهما أقل من 0.2 مايكروميتر وسيراهما كنقطة واحدة. ولهذا فالطريقة الوحيدة لزيادة قدرة المميز هي تقصير الموجة الضوئية، وعلى سبيل المثال، فالشخص المحجوبة عيناه بغطاء حين يطلب منه تمييز أثاث غرفة من خلال لمسها بعضاً طويلة يستطيع تمييز الأجسام الكبيرة فقط وتخفى عليه الأجسام الدقيقة التي يستطيع تمييزها في حالة استعماله قلم رصاص بدلاً من العصا، وستزداد مهارته في حالة استعماله إبرة بدلاً من قلم الرصاص، والحال نفسها تنطبق على الموجة الضوئية. وقد واجه استعمال أقصر الموجات الضوئية وهي الموجة فوق البنفسجية التي لا يتعدى طولها 0.3 مايكروميتر كمصدر ضوء للمجهر

صعوبات عدة، أهمها عدم استطاعتها اختراق الزجاج مما أدى إلى صنع كافة عدسات المجهر والشرائح المجهرية وأغطيتها من الكوارتز أو الفلورايت، وكلها مركبات صعبة التحضير غالية الثمن، كما يجب التقاط صور النماذج الناتجة بآلات تصوير خاصة لعدم استطاعة العين البشرية تمييزها، فضلاً عن ضرر تلك الأشعة على العين، ولهذا اقتصر استعمال المجاهر فوق البنفسجية في الوقت الحاضر على مجالات حياتية محددة، منها استعمالها لتمييز الحوامض النووية وتحديد أماكن وجودها في الخلايا لامتصاص تلك الحوامض هذا النوع من الأشعة. وعموماً، لا تتعدى القوة التحليلية للمجهر فوق البنفسجي 0.1 مايكرومتر، وهي أكبر قدرة مميزة أمكن الوصول إليها قبل اختراع المجهر الإلكتروني الذي يعد مرحلة متطورة من مراحل تطوير المجهر الضوئي.

طرق تحضير نماذج المجهر الضوئي:

يتم إجراء العمليات الآتية على الأنسجة الحيوانية أو النباتية بعد إزالتها من مصادرها وكالاتي:

(1) التثبيت Fixation: هو عملية الحفاظ على شكل الخلايا وحجمها وترتيبها في الأنسجة كما لو كانت لا تزال حية من خلال استعمال مواد كيميائية مثل الفورمالدهايد، والكحول الأيثلي، وحامض الخليك، وغيرها تمنع الخلايا من إفراز أنزيماتها التحليلية. وتستهمل عادة محاليل مكونة من مزيج من المثبتات بحيث يغطي كل مثبت على عيوب المثبت الآخر، فمحلول فليمنك Flemming's fluid -مثلاً- يتكون من حامض الكروميك، وحامض الخليك الثلجي، وحامض الأوزميك. ومحلول زنكر Zenker's fluid يتكون من ثاني كرومات البوتاسيوم، وكلوريد الزئبقيك، وكبريتات الصوديوم، وحامض الخليك، وتتناسب مدة التثبيت طردياً مع سمك النموذج.

(2) الغسل Washing: يستعمل الماء المقطر إذا كان المثبت مائياً أو يستعمل الكحول في حالة كون المثبت كحولياً، وذلك لإزالة آثار بقايا المثبتات المستعملة، وذلك لمنع تداخل بقايا المثبتات غير المتحدة وتفاعلها كيميائياً مع المواد الكيميائية المستعملة في الخطوات الآتية، وتتناسب مدة الغسل طردياً مع قوة المثبت وفترة التثبيت.

(3) النكز Dehydration

تحوي النماذج بعد انتهاء عمليتي التثبيت والغسل على كمية من الماء الواجب إزالته من النماذج بعملية النكز، وذلك لعدم امتزاجه مع مواد الطمر المختلفة ولعدم ذوبان الكثير من الصبغات المستعملة لصيغ النماذج فيه. ولهذا يتم سحب الماء تدريجياً من خلال إمرار النموذج بتركيز تصاعدي من الكحول تبدأ بـ 30% وتنتهي بالكحول المطلق (100%)، إذ أن استعمال الكحول المطلق مباشرة يؤثر ويتلف الأنسجة لسرعة انتشاره فيها. وتعتمد فترة النكز على حجم النموذج المراد إنكازه وطبيعته ومحتواه.

(4) الترويق Clearing

تتم إزالة آثار الكحول من النموذج المراد تحضيره بصورة تدريجية واستبداله بمحاليل الترويق مثل الزايلين Xylene أو البنزين Benzene أو التولوين Tolvne أو غيرها، وذلك لعدم امتزاج الكحول مع المواد المستعملة للطمر ولانخفاض معامل انكساره، مما يجعل النماذج المشربة به غير شفافة وغير واضحة، خلافاً للنماذج المشربة بمحاليل الترويق التي تمتاز بقابليتها على الامتزاج مع محاليل الإنكاز من جهة ومع مواد الطمر من جهة أخرى، لا سيما أن معاملات انكسارها مرتفعة، مما يجعل النماذج أكثر وضوحاً وأكثر شفافية عند فحصها مخبرياً.

(5) التشريب Infiltration

يتم وضع النماذج - بعد انتهاء عملية الترويق - في مواد الطمر السائلة مثل محلول شمع البرافين الذائب لغرض إكساب النماذج المحضرة الصلابة اللازمة لمقاومة أوساط الطمر ولتسهيل عملية القطع، ويتم ترك النموذج في محلول التشريب ليتشبع بصورة تامة، وتعتمد عملية التشريب على طبيعة النموذج وسمكه ومساحته ونوع أداة القطع المراد استخدامها.

(6) الطمر Embedding

تدعى عملية تشريب النماذج وطمرها بنفس الوسط «الطمر البسيط» كأن تكون عمليتي التشريب والطمر بشمع البرافين، بينما تدعى عملية تشريب النماذج بوسط كالسيلويدين Celloidin وطمرها بوسط آخر كشمع البرافين بـ «الطمر المزدوج». وتتم

هذه العملية بعد عملية التشريب من خلال وضع النماذج في قوالب خاصة مملوءة بأحد أنواع الطمر التي تمتاز بقدرتها السريعة على التحول من الحالة السائلة إلى الصلبة، بعملية التبريد «شمع البرافين»، أو بالتبخير «السيلويدين أو الجيلاتين»، أو بالبلورة «لدائن البلاستيك».

7) التقطع Sectioning

يتم تشذيب قالب النموذج قبل البدء بعملية القطع، ثم يثبت على أحد أجزاء المشراح «جهاز القطع الآلي Microtome». ويمكن تقسيم المشراح إلى ثلاثة أنواع:

1) المشراح الانزلاقي Sliding Microtome

يقتصر استعمال هذا النوع من المشراح على قطع المواد الصلبة جداً مثل بعض أنواع الخشب التي تقطع دون طمرها أو اللدائن أو السيلوبدين، ويبقى النموذج في هذا النوع من المشراح ثابتاً في محله بينما تتحرك السكين باتجاه النموذج، ويتراوح سمك المقاطع الممكن الحصول عليها ما بين 2-20 مايكرون، وهناك نوع من المشراح الانزلاقي يدعى «المشارح التجميدية» تتصل بجهاز تبريد يقوم بتبريد السكين والنموذج إلى درجة منخفضة جداً. ولكن يصعب الحصول على مقاطع بسمك أقل من 10 مايكرونات.

2) المشراح الدوار Rotary Microtome

يتم استعمال هذا النوع من المشراح لقطع النماذج المطمورة بشمع البرافين، وفيه تبقى السكين ثابتة ويتحرك حامل النموذج إلى الأعلى وإلى الأسفل.

جـ- المشراح الخارق

الذي يستعمل لقطع نماذج المجهر الإلكتروني والذي سيتم شرحه فيما بعد.

8) الصبغ Staining

تستعمل أنواع كثيرة من الصبغات المختلفة لتمييز أجزاء الخلية عن بعضها، وبعد لصق المقاطع على الشريحة الزجاجية، ويمكن تصنيف أو تقسيم الصبغات إلى أنواع عدة حسب أسسها الهيدروجيني pH، أو حسب قابليتها على صبغ مكونات الخلية المختلفة، أو حسب طبيعية حاملات اللون فيها Chromophores، أو غير ذلك. ويمكن الرجوع إلى معظم الكتب المتعلقة بـ «التحضيرات المجهرية» للاطلاع على تفاصيل هذه العمليات المختلفة.

المجهر الإلكتروني Electron Microscope

تم التوصل في عام 1924 إلى اكتشاف أن للألكترونات خواص موجبة مشابهة لخواص الموجة الضوئية، وإن كانت أقصر منها بكثير. ويمكن أن تتكون الموجة الإلكترونية عند تمرير تيار كهربائي ذي فولتية عالية خلالها، وقد تم عام 1926م تركيز هذه الموجة بشكل شعاع ضيق من خلال إمرارها بمجال مغناطيسي. وقد استعملت هذه التقنية في صناعة أول مجهر إلكتروني في الولايات المتحدة ذي قدرة ميز مساوية لقدرة ميز المجهر الضوئي وذلك عام 1932. وقد أمكن زيادة هذه القدرة تدريجياً حتى وصلت بالنسبة للنماذج الحياتية إلى 2.5 نانوميتر، وبالنسبة للنماذج غير الحياتية - كالمعادن والصخور والذرات - ما بين 0.1 - 1 نانوميتر.

هناك أنواع مختلفة من المجاهر الإلكترونية، أهمها:

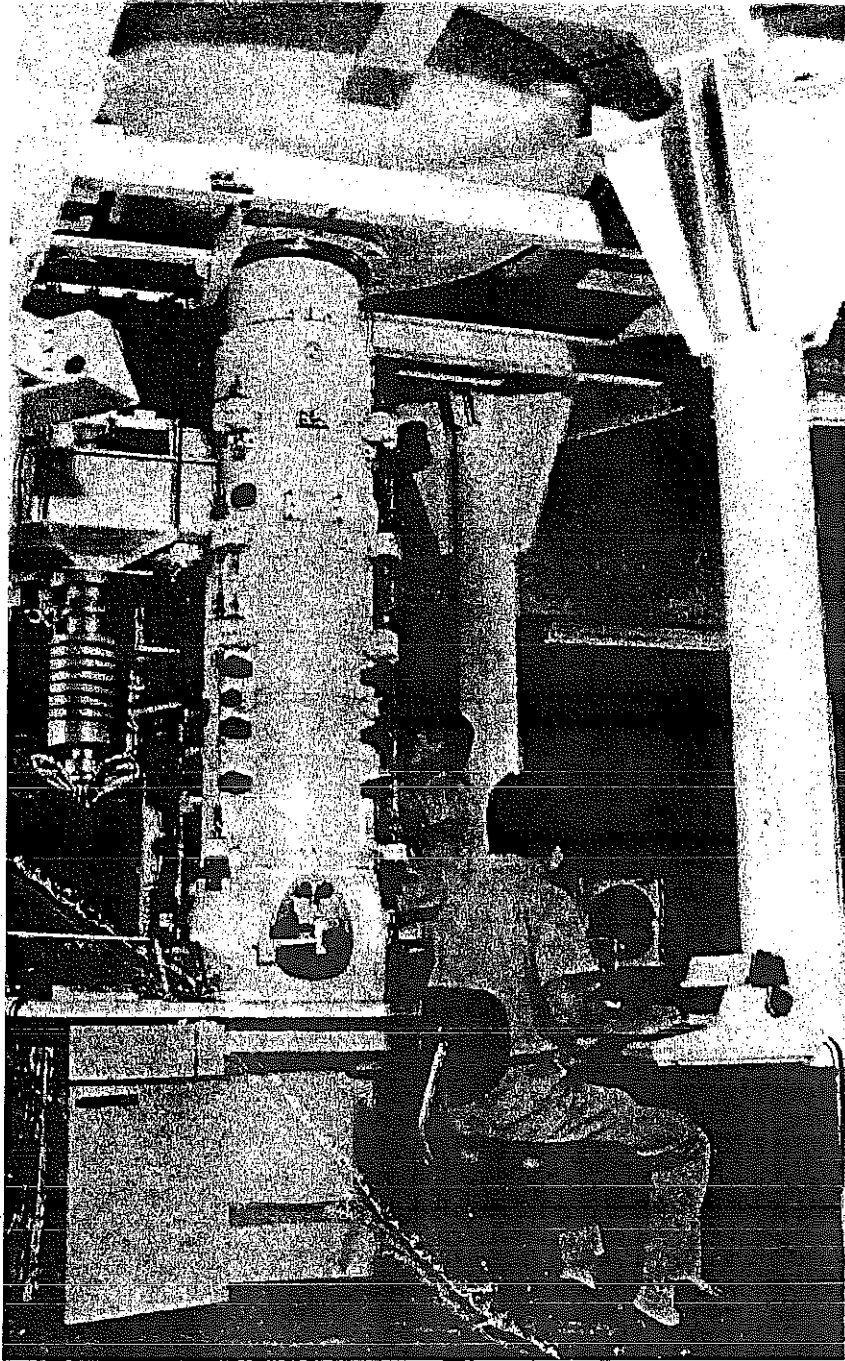
(1) المجهر الإلكتروني النافذ Transmission E.M.

(2) المجهر الإلكتروني الماسح Scanning E.M..

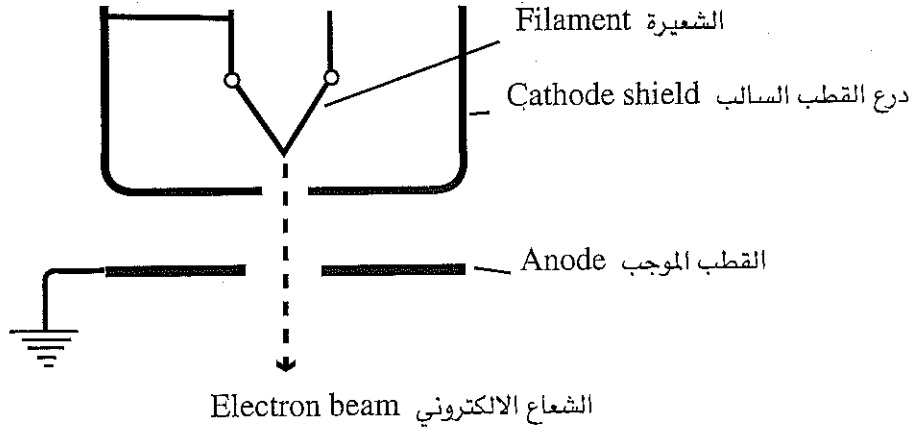
(1) المجهر الإلكتروني النافذ Transmission E.M.

يعد المجهر الإلكتروني أفضل الوسائل لدراسة الخلية الحية وأجزائها دراسة مباشرة وذلك لقدرته المميزة العالية، وكذلك لتنوع التقنيات التي يمكن استخدامها من خلاله لدراسة عضيات الخلية بصورة منفردة أو متجمعة.

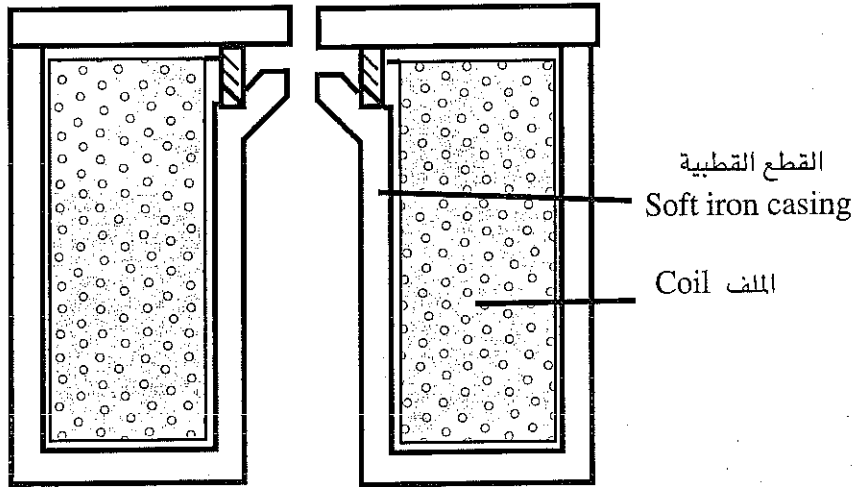
يبلغ طول عمود المجهر الإلكتروني النافذ حوالي 180سم، وتترتب أجزاؤه بصورة مماثلة لترتيب أجزاء المجهر الضوئي - عدا أن الترتيب يكون بصورة عكسية - فيقع المدفع الإلكتروني مصدر الإشعاع أعلى المجهر، وتحت مباشرة ستة أزواج من العدسات الكهرومغناطيسية، يعمل اثنان منها (العدسات المكثفة الأولى والثانية) على تركيز الشعاع الإلكتروني وتضييقه، بينما تحدد ثلاثة أزواج من العدسات (العدسات الشبكية والانكسارية والوسطية) قوة التكبير المتراوحة بين 1000 إلى 1000000 مرة، وأخيراً يقوم زوج من عدسات العرض بتكوين صورة النموذج النهائية على شاشة العرض الفلورسنتية الواقعة في قاعدة عمود المجهر (شكل 3-2).



شكل (2-3) المجهر الالكتروني



شكل (3-3) المدفع الالكتروني



شكل (4-3) العدسات الالكترونية (الملفات الكهرومغناطيسية)

يتكون المدفع الإلكتروني من قطعة من سلك التنكستن المقاوم للانصهار إلى درجة 3000 مئوية على شكل حرف V باللغة الانكليزية تدعى «الشعيرة Filament» (شكل 3-3)، وعند مرور تيار كهربائي ذي فولتية عالية (40-120 كيلوفولت) خلال الشعيرة، فإنها تسخن إلى درجة الاحمرار وتنبثق منها كمية كبيرة من الإلكترونات. وتسمى ظاهرة انبثاق الإلكترونات من المعادن عند تسخينها بالانبعاث الإلكتروني Thermionic emission، وكلما زادت كمية الفولتات المستعملة، زادت حرارة الشعيرة وزادت كمية الإلكترونات المنبثقة. ويقاس طول الموجة (أو الشعاع) الإلكتروني (ل) بالنانومتر حسب المعادلة الآتية:

$$L = \frac{1.5}{nkV}$$

حيث:

n = عدد الكيلوفولتات

kV = كيلو فولت

ففي حالة استعمال 60 كيلو فولت، فإن طول الموجة الإلكترونية سيكون 0.005 نانومتر، أي أقصر عشرة آلاف مرة من الموجة الضوئية. ويمر الشعاع الإلكتروني خلال العدسات الكهرومغناطيسية التي تتكون كل منها من سلك نحاسي يلتف آلاف المرات على شكل لولب حلزوني يمر خلاله تيار كهربائي يقدر بأمبير واحد أو أقل لتحويله إلى مجال مغناطيسي يعمل على تركيز وتضييق الشعاع الإلكتروني المار، ويتم تغليف السلك بإطار من الحديد الناعم. وتوضع قطع معدنية ذات فوهة ضيقة تدعى «القطع القطبية» على طول محور العدسة لزيادة تركيز وتضييق الشعاع الإلكتروني المار خلالها (شكل 3-4). وتتناسب قوة تكبير العدسة الإلكترونية تناسباً طردياً مع زيادة التيار الكهربائي المار خلالها، ومع عدد الدورات السلكية فيها، ومع زيادة الفولتية المعطاة للشعيرة في المدفع الإلكتروني- وهي تختلف من مجهر لآخر-. وأخيراً تتكون الصورة النهائية للنموذج على شاشة فلورسنتية - نظراً لحساسية العين البشرية

للألكترونيات-، وتشاهد هذه الشاشة في أسفل عمود المجهر من خلال نافذة ذات زجاج معتم وبمساعدة مجهر ضوئي ذي تكبير محدود يوضع خارج قاعدة المجهر الإلكتروني لتوضيح بعض دقائق الصورة، ويمكن التقاط صور خاصة للنماذج بآلات تصوير خاصة.

يحيط بالمجهر الإلكتروني عدد من الأجهزة الكهربائية التي تزود الشعيرة بفولتية عالية تتراوح بين 40 إلى 120 كيلو فولت (وازدادت الفولتية إلى أكثر من 120 فولت في بعض المجاهر الإلكترونية الحديثة)، وكذلك أجهزة أخرى لتزويد العدسات بتيارها الكهربائي الذي لا يتجاوز الأمبير الواحد، فضلاً عن وجود أجهزة سيطرة مختلفة لتتناسب الفولتية المارة عبر الشعيرة طردياً مع زيادة التيار الكهربائي المار بالعدسات، كما إن هناك الكثير من أجهزة التبريد الداخلي، وعدد من مفرغات الهواء التي تقوم بالتخلص من الهواء وبقايا الأبخرة والغازات الناتجة عن عمل المجهر الإلكتروني لأن اصطدام جزيئات أوكسجين الهواء بالكثرونات شعاع المدفع الإلكتروني، سيؤدي إلى تأكسد هذه الإلكترونات، مما يجعل من الضروري تفريغ المجهر الإلكتروني من الهواء تماماً، وأخيراً هناك الأجهزة المسيطرة على حركة أجزاء المجهر المختلفة، فضلاً عن وجوب كون جدران المجهر سميكة نوعاً ما، وذلك لمنع تأثر أجزائه الداخلية بالموجات الصوتية في البنية الموجودة فيها، ولهذا يفضل دائماً وضع المجهر الإلكتروني في سرداب عميق أو في الطابق الأرضي من البناية وفي أماكن بعيدة عن الضوضاء.

المشاكل التي تواجه المجهر الإلكتروني النافذ:

تعد قدرة ميز المجهر الإلكتروني النظرية عالية جداً مقارنة بالمجهر الضوئي، وذلك بسبب قصر الموجة الإلكترونية (0.005 نانوميتر) مقارنة بالموجة الضوئية (500 نانوميتر) أو الموجة فوق البنفسجية (200 نانوميتر)، ولكن قدرة الميز العملية تبقى أقل بكثير من القدرة النظرية، مما يمنع استعمال الحد الأعلى للتكبير (الذي يتجاوز في المجاهر الإلكترونية الحديثة المليون) وذلك لأسباب عدة منها كون العدسات الإلكترونية (والتي هي بمثابة ملفات كهرومغناطيسية) غير نموذجية مقارنة مع العدسات الزجاجية وتشكو من ظاهرة «الزيغ اللوني» الناتجة عن تغير الطول البصري للعدسة الإلكترونية

نظراً لتغير طول الشعاع الإلكتروني بسبب زيادة أو نقصان الفولتية الكهربائية المؤثرة على الشعيرة بكميات ضئيلة، ولهذا فالسيطرة على الفولتية بالمقاومات الكهربائية لمنع تغييرها إلا بجزء واحد من مائة جزء تعد إحدى مشكلات المجهر الإلكتروني، وفي الوقت نفسه تعاني العدسات الإلكترونية من ظاهرة «الزيج الكروي» التي تمنع تركيز الشعاع المار عبر العدسة على نقطة معينة من النموذج باستمرار. وتعالج هذه الظاهرة في المجهر الضوئي من خلال وضع عدسات ذات أشكال مختلفة يصحح بعضها البعض الآخر، ولكن هذا الحل ليس ممكناً في المجهر الإلكتروني، ولذا يتم تضيق فتحة العدسة الكهرومغناطيسية لتركيز الشعاع الإلكتروني المار خلالها، وفي الوقت نفسه يجب تثبيت النموذج وتثبيت درجة حرارته لمنع تمدده عدة نانوميترات، وكذلك زيادة سمك جدران المجهر لمنع تأثر النموذج أو الشعاع الإلكتروني بالذبذبات الصوتية في البناية الموجود فيها المجهر، علماً بأن الوصول إلى قدرة ميز معينة لا يعتمد على نوع النموذج أو المجهر المستعمل، وإنما على مدى الخبرة العملية للشخص العامل على ذلك المجهر. وقد وصلت قدرة ميز المجهر إلى 0.02 نانوميتر عند فحص بلورات بعض الأملاح، وهي لا تزال بعيدة عن قدرة الميز النظرية للمجهر المقدرة 0.002 نانوميتر. وأخيراً فإن عدم استطاعة المجهر العمل في جو من الهواء وضع حدوداً معينة لأنواع النماذج المستطاع فحصها والتي يجب تحضيرها بطرائق خاصة.

تحضير نماذج المجهر الإلكتروني النافذ:

يجب توفر ميزات وصفات عديدة في نماذج المجهر الإلكتروني، منها مقاومتها للحرارة العالية الناتجة من الشعاع الإلكتروني، ووجوب خلوها من جزيئات الماء التي تتبخر بسرعة في فراغ المجهر مسببة جفاف النموذج وتهشمه، كما يجب أن يتراوح سمكها ما بين 50 - 100 نانوميتر، وبعكسه ينحرف الشعاع الإلكتروني وتتكون صورة سوداء للنموذج، ولهذا واجهت دراسة التراكيب الدقيقة للخلايا والأنسجة بالمجهر مشكلات عديدة، وذلك لسمك الخلية المتراوح ما بين 10 - 100 مايكروميتر، فضلاً عن أن الماء يكون 70% من محتوياتها، وعدم مقاومتها للحرارة العالية. وقد تغلب العلماء على هذه المشكلات عن طريق سلسلة من العمليات التي تبدأ بالتثبيت ثم الغسل والتجفيف ثم الطمر، وفيما يأتي ملخص لهذه العمليات:

(1) التثبيت Fixation

يقصد بالتثبيت عملية حفظ شكل خلايا النسيج بعد موت الكائن الحي بحيث يكون المثبت أواصر كيميائية مع بروتينات ودهون الخلايا، مما يؤدي إلى تسرب الماء تدريجياً من الخلية وجفافها، مع الاحتفاظ بشكلها الخارجي والداخلي تقريباً، حيث تعمل هذه المثبتات على ربط الجزيئات البروتينية التي تدخل في تركيب الأغشية الخلوية مع بعضها وتثبيتها في مكانها الأصلي مما يسبب أقل قدر ممكن من الانكماش أو الانتفاخ، بينما تتحلل معظم مكونات الخلية الأخرى غير المثبتة تثبيتاً كاملاً، ويتم ذلك من خلال حقن المثبت في جسم الحيوان بعد تخديره. والمشكلة الأساسية هي إبقاء الجسم حياً مع استمرار حقن المثبت إلى الدم لتبقى الشرايين والأوردة على وضعها الطبيعي، ولكن لا يتغير شكل الأنسجة خاصة التي تتأثر بسرعة نقص الأوكسجين كالأنسجة العصبية -مثلاً-، ولهذا قد يتم حقن المثبت بجرعات صغيرة خلال الدم -رغم أن تأثير هذه الجرعات لن يكون كتأثير جرعة كبيرة-، ويفضل استعمال مزيج متجانس من الألددهيدات - التي تقوم بتوسيع الأوعية الدموية - ورابع أوكسيد الأوزميوم - الذي يقوم بتقليمها - لتبقى الأوعية الدموية محتفظة بشكلها الطبيعي. وتستلزم عملية الحقن استعمال أجهزة معقدة دقيقة إضافة إلى ضرورة استعمال طرائق لوقاية الشخص القائم بالعملية من التأثير بأبخرة المثبتات السامة. وعند تعذر استعمال طريقة الحقن، أو في حالة النباتات، يتم تخدير الحيوانات، ثم يتم تقطيع الأنسجة الحيوانية -أو النباتية- إلى شرائح رقيقة لا يزيد سمكها عن 2 ملم - مع إضافة قطرات من المثبت كل بضع ثوان على النسيج في أثناء عملية القطع-، ثم يتم غمر النسيج في المثبت لمدة 20 دقيقة على الأقل -اعتماداً على نوع وتركيز المثبت ونوع النسيج - في درجة حرارة واطئة لا تزيد عن 4 درجة مئوية، ثم يتم غمر الأنسجة بمحلول الفورمالدهايد لمنع تحللها الذاتي، ثم تخزن في محلول يحتوي 10% من السكر أو الكلوترديهايد عدة أشهر بعد تقطيعها إلى قطع يبلغ حجمها التقريبي 1×0.4 سم.

إن عملية اختيار مثبت معين لنسيج معين تستغرق وقتاً طويلاً إذ يلعب حجم النسيج دوراً مهماً - لا سيما أن معظم الأنسجة توجد على شكل طبقات متعاقبة - . ومعظم

المثبتات المستعملة لا تستطيع الانتشار إلا لعمق يتراوح بين 0.25 - 0.5 ملليمتر مكعب، وبسرعة تتراوح بين 8 - 20 مايكروميتر في الدقيقة، ويجب تثبيت درجة الحرارة بحيث تتراوح بين صفر إلى 4 درجات مئوية، كما يلعب الضوء دوراً مهماً - أحياناً -، فتتنفخ البلاستيدات الخضراء - مثلاً - المثبتة في مكان معتم أو قليل الإضاءة عند تعرضها للضوء الساطع، وأخيراً فإن تركيز مثبت معين يستلزم الكثير من التجارب، لا سيما أن التركيز القليل سيؤدي إلى عدم تأثير بعض مكونات الخلية به، بينما يؤدي التركيز العالي إلى أكسدة بعض البروتينات. وتستغرق عملية التثبيت بصورة عامة - مع ملاحظة تأثير المدة بالعوامل المذكورة سابقاً - بين ساعة واحدة إلى ثلاث ساعات، ويُعد رابع أوكسيد الأوزميوم والكلوترديهايد أفضل مثبتين يستعملان في تحضير 80% من نماذج المجهر الإلكتروني. ويستعمل رابع أوكسيد الأوزميوم OsO_4 المكون من تعرض فلز الأوزميوم إلى الهواء كمشبث و «صبغة» مما يمنحه أهمية مضاعفة عند تحضير نماذج المجهر الإلكتروني، وتبلغ سرعة اختراقه لمعظم الأنسجة 0.6 ملليمتر في الساعة الأولى، ثم تبطئ هذه السرعة بحيث يتم تثبيت النموذج البالغ قطره 1 ملليمتر في ساعتين مع بقاء مركز النموذج دون تثبيت، ولهذا تستعمل نماذج يقدر قطرها بـ 0.5 ملليمتر عند استعمال هذا المثبت، أو يتم قطع فجوة داخل النموذج للسماح للمثبت بالتغلغل إلى مركز النموذج في الوقت نفسه الذي يصل فيه إلى الطبقات العليا. ويتفاعل هذا المثبت مع الدهون - خاصة غير المشبعة منها - ولكنه لا يتفاعل مع البروتينات، ولهذا يستعمل في مزيج مع سائل الكلوترديهايد الذي يتفاعل ويكون أواصر كيميائية مع البروتينات تؤدي إلى منع ذوبانها وثباتها في الخلية، وإن كان لا يتفاعل مع الدهون.

هناك مثبتات أخرى مثل الفورمالديهايد المستعمل في تثبيت أنسجة البذور، والأكرولين لتثبيت الطحالب والفطريات، ورابع أوكسيد الروثيوم لإظهار الأغشية البلازمية المختلفة في الخلايا بعد مزجه مع برمنكنات البوتاسيوم، ويتم مزج رابع أوكسيد الأوزميوم أو الكلوترديهايد أو كليهما مع بعض هذه المثبتات لزيادة توضيح بعض مكونات الخلية المختلفة.

(2) الغسل Washing

يقصد بـ «الغسل» عملية إزالة بقايا المثبت الموجودة في النسيج، ويتم استعمال المحلول القياسي buffer المستعمل في محلول المثبت رغبة في عدم تغيير محيط

النموذج، ويفضل عدم استعمال الماء الذي يؤدي إلى إزالة بعض مكونات الخلية التي تذوب فيه. وفي حالة استعمال محاليل مزدوجة أو ثلاثية للتثبيت، تتم إزالة كمية المثبت الأول الزائدة قبل إضافة المثبت الثاني، فتُزال كمية الكلوترديهايد الزائدة -مثلاً- قبل إضافة رابع أوكسيد الأوزميوم الذي يتفاعل مع الكلوترديهايد الزائد، مما يؤدي إلى تكوين ترسبات سوداء من الأوزميوم المختزل. وتستغرق عملية الغسل بين 15 دقيقة إلى أربع ساعات - اعتماداً على نوع النسيج وتركيز المثبت- في درجات حرارة واطئة تتراوح بين صفر إلى 4 درجات مئوية.

(3) النكز «التجفيف» Dehydration

يقصد بـ «النكز» عملية التخلص من الماء الموجود بصورة حرة في النموذج المثبت من خلال استبداله بسائل عضوي مثل الأسيتون أو الكحول الأثيري، وذلك لعدم امتزاج الماء مع مواد الطمر المختلفة ولعدم ذوبان الكثير من الصبغات المستعملة فيه. ويجب أن تتم عملية النكز بسرعة وفي فترة قصيرة للغاية تكفي لطرد الماء من الخلية وإن كانت غير كافية لطرد محتوياتها، ويفضل أن يكون تركيز المجفف العضوي كبيراً ليسبب مسخ البروتينات التي لم يتم تثبيتها مما يمنع ذوبانها.

(4) الترويق والتشريب Clearing & Infiltration

تتم عمليتي الترويق والتشريب كما تم شرحها في موضوع المجهر الضوئي، وتستعمل محاليل اللدائن السائلة كمحاليل لتشريب النماذج المراد مشاهدتها خلال المجهر الإلكتروني.

(5) الطمر والقطع Embedding & Sectioning

يتم طمر النموذج - بعد انتهاء عملية النكز - في بعض أنواع اللدائن غير المتبلرة، التي تتم بلمرتها بعد ذلك من خلال تعريضها للحرارة، وتمتاز أكثر اللدائن المستعملة بالنعومة - رغم صلابتها-، فضلاً عن كونها هشة مما يسمح بقطعها، وتتلبمر بدون زيادة في الحجم، مما يجعل عملية تشويه النموذج ضئيلة جداً. وأهم اللدائن المستعملة هي بلورات الميثا Metha crystals والبيرسبكس perspex، كما يتم استعمال الأرالدايت Araldite وهو نوع من أنواع الراتنج resin لا يزال يستعمل حتى الآن كمادة لاصقة.

فضلاً عن استعماله في تحضير نماذج المجهر الإلكتروني، ويتم تثبيت النموذج المراد قطعه على أحد أجزاء جهاز المشراح الخارق Ultramicrotome. ويتحرك هذا الجزء إلى الأعلى وإلى الأسفل ويتقدم مسافات معينة تقدر بالنانوميترات باتجاه سكين ثابتة لها حد زجاجي أو ماسي، وتحدد سرعة ومسافة تقدم النموذج بواسطة جهاز آلي خاص متصل بالمشراح الخارق، ويتم مراقبة القطع من خلال مجهر ضوئي ذي قوة تكبيرية عالية، وتطفو الشرائح المقطوعة على سطح ماء إناء متصل بحد السكين من الجهة الأخرى. ويمكن -من خلال الخبرة- قطع سلسلة طويلة من الشرائح لا تزيد عن ميكروميتر واحد سمكاً، وتحمل كشریط طويل ليتم فحصها بمجهر ضوئي ذي قوة تكبيرية واطئة لاختيار المناطق المراد تكبيرها وفحصها بالمجهر الإلكتروني، ومن ثم تحديدها على المقطع النسيجي وإزالة المناطق غير المرغوب فيها بحيث تبقى المنطقة التي يراد فحصها بالمجهر الإلكتروني بعد تقطيعها. ويجب أن تكون درجة حرارة غرفة القطع ثابتة، كما أنه لا يجوز لمس النماذج المظمورة باليد أو إمرار تيار هوائي عليها مما قد يسبب تمددها أو تقلصها وهذا يسبب تشوه المقاطع، ويتراوح سمك الشريحة (المقطع) بحدود 60 - 90 نانوميتر. وأخيراً توضع المقاطع على شريط رقيق ساند يسمح بمرور الإلكترونات خلاله وإن كان من القوة بحيث يتحمل حرارة التيار الإلكتروني، ويصنع هذا النوع من الشرائط الساندة من اللدائن: البارلوديون parlodoan أو الفورمفور forvor، وأحياناً من الكربون أو أول أكسيد السليكون، ويوضع الشريط الساند على قرص منخلي عبارة عن شبكة من النحاس أو البلاتين، قطر فتحاتها 0.1 ملليمتر، وقطر أسلاكها ما بين 2-3 ملليمتر، تعمل عمل الشريحة الزجاجية في المجهر الضوئي التي لا يمكن استعمالها لأن الزجاج يمنع مرور الإلكترونات خلاله.

تتكون صورة النموذج في المجهر الإلكتروني نتيجة اصطدام إلكترونات الشعاع بذرات العناصر المكونة للنموذج، ولكن بما أن معظم العناصر المكونة للكائنات الحية هي ذات وزن ذري خفيف كالهيدروجين والأكسجين والكربون والنيتروجين، والتي تخترقها أو تدمرها إلكترونات الشعاع بسهولة، لهذا لا بد من إحلال عناصر ذات وزن ذري ثقيل محلها -داخل النموذج- باستعمال ما يسمى «الأصبغ» التي هي عبارة عن مركبات عناصر ثقيلة مثل خلاات اليورانيوم أو رابع أكسيد الأزميوم أو غيرها يمكن إضافتها

خلال مراحل مختلفة من عمليات تحضير النموذج، فهي إما أن تتم خلال عملية التثبيت أو الغسل أو النكز أو الطمر، إضافة إلى وجود طرق أخرى تستعمل لإظهار صورة النموذج -مما لا يتسع المجال لشرحها- منها طريقة الظل أو طريقة النقطة الحرجة وغيرها والتي يمكن الاطلاع عليها في الكتب المتعلقة بالمجهر الإلكتروني.

آلية إظهار صورة النموذج:

هناك عدد من الطرائق التي تمكن الباحث من رؤية مكونات الخلية، أهمها:

(1) الأصباغ Stains

تتميز الأصباغ المستعملة في تحضير نماذج المجهر الإلكتروني بقدرتها على زيادة تبعثر الإلكترونات، مما يؤدي إلى زيادة التضاد «أو التباين» وأن تكون سهلة التحضير متجانسة ولا تتفاعل مع المثبتات المستعملة أو تسبب أي تغير غير طبيعي أو تشوه للنموذج. ومعظم الأصباغ المستعملة مكونة من أملاح أو هيدروكسيدات أحد الفلزات الثقيلة كاليورانيوم والرصاص والفضة الممتصة بدرجات مختلفة من قبل الخلايا والأنسجة. ويؤدي تراكم ذرات العناصر الثقيلة إلى زيادة كتلة النموذج وبالتالي إمكانية استعمال شرائح رقيقة، كما أن وجود ذرات الفلزات الثقيلة في النسيج سيزيد من درجة مقاومة النماذج لحرارة الشعاع الإلكتروني. ويمكن إضافة الأصباغ خلال مراحل مختلفة من عمليات تحضير النموذج، فهي إما أن تتم خلال مراحل التثبيت أو الغسل أو النكز أو الطمر، وإن كان معظم الباحثين قد وجدوا أن إضافة «الأصباغ» بعد عملية الطمر ستؤدي إلى نتائج أفضل من غيرها وتمنع تصلب النسيج. ويمكن تقسيم «الصباغات» إلى عدة أنواع:

(أ) الصباغ السالب Negative staining

تستعمل بعض أملاح الفلزات الثقيلة مثل «خلات اليورانيوم» أو «تكستات الصوديوم أو البوتاسيوم الفوسفاتية» وأحياناً «يوديد الكاديوم» والتي تمزج مع النماذج الصغيرة مثل الفيروسات والبكتيريا والابتدائيات والحيامن، ثم يرش المزيج على الشريط الساند فتتحول الأملاح عند جفافها إلى طبقة صلبة لا يظهر تركيبها الجزيئي في المجهر الإلكتروني تحيط بالفيروسات -مثلاً- مائلة الفراغات الموجودة بينها من غير أن

تتفد إلى داخل الفيروس، وعندما يمر الشعاع الألكتروني دون انعكاس خلال الفيروسات «لكونها مكونة من عناصر ذات وزن ذري قليل مثل الكربون والأوكسجين والكبريت والفسفور»، بينما ينعكس عند اصطدامه بجزئيات الأملاح الثقيلة، تبدو الفيروسات كأجسام بيضاء محاطة بطبقة سوداء. ورغم سهولة الطريقة نظرياً إلا أن الصعوبة تكمن في التحكم في كمية «الصبغة» لكي لا يقع قسم منها تحت أو فوق الفيروسات ويمنع رؤيتها، كما أن الفيروسات قد تمتص هذه الصبغة أحياناً.

ب) الصباغ الموجب Positive staining

تتم من خلال إضافة أملاح الفلزات الثقيلة التي تتفد من خلال المادة اللدنية البلاستيكية - التي لا تتأثر بالأصباغ نفسها - إلى داخل الأنسجة، فتتحد خلايا اليورانيوم -مثلاً- مع بروتينات الخلية وحوامضها النووية، بينما تتحد أملاح الرصاص مع المواد الدهنية في الخلية. وأهم عيوب هذه الطريقة صعوبة التصاق عدد كبير من ذرات الفلزات الثقيلة مع النموذج للحصول على تباين جيد إلا في حالة الجزئيات الكبيرة، مثل الرايوسومات والحوامض النووية والكلايكوجين التي ستبدو غامقة اللون ومحاطة بوسط فاتح تقريباً، ولهذا يفضل استعمال عدة محاليل صبغية لإظهار صورة واضحة لتراكيب الخلية، كما تتأثر الأنسجة بطرق التثبيت والنكز من حيث قابلية اصطباغها، وكذلك تتأثر بنوع اللدائن المستعملة في الطمر، فالأرالدات يمنع نفاذية الصبغة إلا بصعوبة، بينما تسمح «بلورات الميثا» للأصباغ بالنفوذ بسهولة

ج- التصوير الإشعاعي الذاتي Auto radiography

يتم بواسطة هذه الطريقة تعيين المكونات الكيميائية للنسيج عن طريق تعيين مواقع المواد المشعة التي يتم حقن النسيج بها قبل قطعه، وبعد إجراء عمليات التثبيت والغسل والنكز والطمر، يتم وضع الشرائح المتبلمرة في «مستحلب تصوير Photographic emulsion» وتحفظ في الظلام لعدة أسابيع أو عدة أشهر -حسب نوع النسيج- إلى أن يتم ترسب الفضة «الموجودة في المستحلب على شكل حبيبات سوداء في مواقع معينة من النسيج. ويستعمل أحياناً «محلول مظهر للصورة developer» لإيضاح الخلفية، كما يمكن استعمال أحد الأصباغ كأملاح اليورانيوم لزيادة التضاد.

(2) طريقة التظليل shadwoing

تستعمل هذه الطريقة لدراسة أشكال وأبعاد النماذج الصغيرة كالفيروسات والبكتريا والحيامن، وكذلك لقياس حجم «د ن آ DNA» أو توضيح شكله اللولبي أو الدائري. وتتلخص الطريقة برش محلول الفيروسات -مثلاً- على الشريط الساند دون مزجه بـ «صبغة»، وبعد جفاف المحلول، يتم وضع الشريط الساند في ناقوس يفرغ تدريجياً من الهواء، ويحتوي على سلك من التكنستن المغلف بطبقة من الذهب أو البلاتين بحيث يتم تكوين زاوية حادة بين السلك والنموذج. وعند إمرار تيار كهربائي خلال السلك يتوهج وتتبخر ذرات الذهب أو البلاتين في جميع الاتجاهات بشكل خطوط مستقيمة، مما يؤدي إلى تغليف النموذج بطبقة من الفلز من جميع جهاته إلا منطقة «الظل» التي تبدو بيضاء عند تصوير النموذج من خلال المجهر الإلكتروني، ثم يعاد طبع الصورة مرة أخرى ليظهر «الظل» كما هو عليه في النسخة السالبة كبقعة سوداء. وتعتبر الطريقة غير ناجحة تماماً لقياس حجم الفيروسات الصغيرة بسبب قصر ظلها.

(3) طريقة النسخة المطابقة

يتم تجميد النسيج بسائل النتروجين الجاف (-20م)، ثم يقطع بواسطة سكين إلى مقاطع غير منتظمة من خلال تتبع السكين للشقوق والأماكن التي لا تقاوم القطع في النموذج، مما يؤدي إلى تكوين مقاطع تكون الخلايا فيها محطمة أو ممزقة إلى عدة أقسام، بعدها يتم استخلاص الماء من سطح النسيج المقطوع بواسطة الفراغ وتحت ظروف من الضغط والحرارة بحيث تتسامى حافات الغشاء البلازمي وبعض أجزاء الخلية المجاورة للسطح إلى الأعلى، ثم يتم وضع طبقة رقيقة من الذهب أو البلاتين على سطح النموذج بعملية تشبه عملية «التظليل»، ثم يتم ترسيب طبقة أخرى من الكربون -لغرض التقوية- على طبقة الفلز، وأخيراً يتم فصل الطبقة المعدنية الشائبة عن النموذج من خلال سطح الماء أو من خلال إذابة النموذج كيميائياً -في حالة استحالة فصله-، ثم يتم فحص «النسخة الفلزية المطابقة» تحت المجهر علماً أنها صورة سالبة -بمعنى أن الارتفاعات فيها هي انخفاضات على سطح النموذج-، ولهذا يتم عادة عمل «صورة موجبة» من النسخة المطابقة السالبة بنفس الطريقة. وتستعمل الطريقة

لدراسة سطوح الفيروسات وبعض بلورات البروتينات التي تتحطم بسهولة عند تعرضها للشعاع الإلكتروني.

(4) طريقة النقطة الحرجة

يتم استعمال الكحول الأيثلي -بدلاً من سائل النتروجين الجاف- في تجميد النموذج، ثم يستبدل تدريجياً -بعد عملية القطع غير المنتظم - بسائل غاز ثاني أكسيد الكربون تحت ضغط عال وحرارة تقدر بـ 15 درجة مئوية، و عندما يتم رفع درجة الحرارة إلى 31 درجة مئوية، يتحول السائل إلى غاز مرة أخرى، وأخيراً يتم تحضير «النسخة المطابقة» -كما هو موضح أعلاه-. وتتميز هذه الطريقة بعدم حاجة الخلايا إلى فقدان ماءها مما يجعلها تحافظ على شكلها مما يؤدي إلى ثبات تركيبها الجزيئي.

(5) طريقة كلينشمدت

تستعمل هذه الطريقة لرؤية الحامض النووي منقوص الأوكسجين DNA، وتتلخص بوضع قطرة من (د ن أ) المذاب في سائل خلاات الأمونيوم الذي يتراوح تركيزه بين 1-0.5 مول ويحتوي على 0.1 ملغم/سم³ من سايتوكروم س "Cytochrome C" على سطح شريحة زجاجية، ثم يسمح للقطرة بالانسياب التدريجي إلى حوض يحتوي محلول خلاات الأمونيوم بتركيز يتراوح بين 0.15-0.25 مول مما يؤدي إلى تكون شريط من سايتوكروم س يحتوي على جزئيات (د ن أ) المرتبطة به، هذا الشريط يلتصق بسهولة على «القرص المنخلي» الذي يتم وضعه في كحول نقي لتثبيت هذا الشريط عليه بصورة محكمة، ولكن التصاق جزئيات سايتوكروم س بـ (د ن أ) تجعله يبدو أكبر مما هو عليه، ولهذا يفضل استعمال «كلوريد كونيوم البنزين».

المجهر الإلكتروني الماسح Scanning E.M.

يختلف المجهر الإلكتروني الماسح «او المجهر الإلكتروني ذو الاستطارة الخلفية» الذي بدأ إنتاجه تجارياً عام 1965 عن المجهر الإلكتروني المباشر من خلال احتوائه على عدسات كهرومغناطيسية خاصة تقوم بتضييق الشعاع الإلكتروني إلى شعاع ضيق بحيث لا يتجاوز قطره 5 نانوميتر، وتتم السيطرة على الشعاع من خلال زوج من اللوالب المتصلة بعدد من الدوائر الكهربائية التي تقوم بتغيير مسار الشعاع بحيث يتحرك ذهاباً

وإياباً على النموذج المغطى بطبقة رقيقة من الذهب أو البلاتين لا يزيد سمكها عن 200 نانوميتر، وعند سقوط الكترولونات الشعاع على النموذج ونموذجها فيه بمسافة قصيرة، يقوم النموذج بإطلاق «او قذف» مجموعة من الألكترونات التي تدعى «الألكترونات الثانوية» التي سيتم انتقالها إلى داخل أجهزة خاصة تقوم بقياس سرعة انبثاقها، وسيؤدي ظهور أي «نتوء» أو «انخفاض» على سطح النموذج، إلى تغير في حساسية انبثاق الألكترونات الثانوية من النموذج، حيث ستتم رؤيته على شكل تغير في شدة إضاءة نقطة معينة عن مجاورتها على الشاشة الفلورسنتية، علماً أن حساسية المجهر دقيقة إلى درجة تسجيل الاختلاف بين الارتفاعات والانخفاضات بمقدار 0.1 نانوميتر، مما يؤدي إلى تكوين شكل طوبوغرافي ثلاثي الأبعاد يمثل الجزء من ذلك النموذج المراد رؤيته (شكل 3-5).

يستطيع المجهر الماسح العمل على مساحة واسعة من التكبيرات تتراوح بين $10 \times$ مرة «قوة تكبير العدسة البسيطة» إلى $100000 \times$ «قوة تكبير المجهر الإلكتروني المباشر»، وتحضر جميع النماذج بطرق شبيهة بطرق تحضير نماذج المجهر الإلكتروني المباشر، وتغطي جميعها - قبل الاستعمال - بطبقة رقيقة من الذهب أو البلاتين باستعمال طريقة التبخير بالفراغ لمنع تأثر النموذج بالزيادة التدريجية لقوة أو حرارة الشعاع الإلكتروني. وتعتمد قدرة الميز في المجهر الماسح على قطر الشعاع الساقط على نقطة من النموذج، وحجم المساحة المسوحة، ومعدل سرعة المسح، وكذلك على نوع النموذج وقابليته على التفاعل مع الشعاع، فضلاً عن مهارة الباحث العامل على المجهر وخبرته، كما أن استعمال «الحاسبات الإلكترونية» خلال السنوات الأخيرة والتي تسجل أدنى فرق بين الارتفاعات والانخفاضات أدى إلى زيادة توضيح الصورة.

الصعوبات التي تواجه المجهر الماسح:

اقتصرت استعمال المجهر الماسح -في كثير من الحالات- على دراسة طوبوغرافية الأجسام الصلبة دون تراكيبها الداخلية التي تتم دراستها من خلال المجهر الإلكتروني النافذ، لذا يعد كل مجهر مكماً للنوع الآخر، وقد توضحت من خلال المجهر الماسح كميات هائلة من تفاصيل سطوح الكائنات الحية الحيوانية والنباتية الخارجية، حيث

استعمل في دراسة سطوح حبوب اللقاح وسبورات الفطريات وأوراق النباتات وهياكل الحشرات وغيرها، مما أدى إلى زيادة معلومات الباحثين في كثير من العلوم، فعلى سبيل المثال، أصبح بالإمكان تعيين سلالات الحشرات بصورة دقيقة، كما تم تصنيف العديد من المتحجرات الدقيقة -من خلاله- أو كانت تعد نوعاً واحداً، كما تم استعمال هذا المجهر لدراسة سطوح المعادن والطبقات الجيولوجية لسطح الأرض من «علماء الأرض».

تعد المجاهر بأنواعها المختلفة أدوات مساعدة في البحوث الأحيائية والكيميوحياتية، فقد أثبت العلماء وجود الجراثيم المرضية (وكذلك الفيروسات) وعالجوها وحددوا أشكالها (اعتماداً على تجارب كيميوحياتية) قبل مشاهدتها في المجهرين الضوئي ثم الإلكتروني، كما حدد العلماء شكل الخلية وتحديد أشكال عضياتها بدقة قبل عشرين سنة (على الأقل) من رؤيتها في المجهر الإلكتروني، لذا فالاعتماد على المجاهر كأداة مفردة غير صحيح علمياً، بل يجب عدها أدوات مساعدة.

مراجع الفصل الثالث

- Bahr, G.F., Anal. Quant. Cytol., 1 (1979)1.
- Coons, A.H., Int. Rev. Cytol., 5 (1956) 1.
- Fujiwara, K. and Pollard, T.D., J. Cell. Biol., 77 (1978) 182.
- Lake, J. A., Sci, Amer, . 245 (1981) 84.
- Marx, J.L., Science, 222 (1983) 1109.
- Neutra, M. and Leblond, C.P., Sci, Amer., 220 (1969)100.
- Osborn, M. and Weber, K., Cell, 12 (1977) 561.
- Porter, K.R., J. Cell. Biol., 99 (1984) 1.
- Prusiner, S.B., Sci. Amer., 251 (1984) 50.
- Puck. T.T. et al. J. Cell Physiol. , 107 (1981) 399.
- Rieder, C.L., J. Cell Biol., 80 (1979) 1.
- Sheetz, M.P. and Spudick, J.A., Nature, 303 (1983) 31.
- Sherline, P. and Schiavone, K., J. Cell. Biol., 77 (1977) 9.
- Steinert, P.M., Cell, 42 (1985) 411.
- Timpl, R. et al. TIBS, 207 (1983) 6.
- Yamada, K. M. and Kennedy, D.W., J. Cell Biol., 99 (1984) 29.
- Yu, M. and Ohkuma, S., Microscopy, 1998, Cantz Press Ltd., Philadelphia, USA.
- Zayma, D.F., Microscopy, 1998, Oxford University Press, Oxford, UK.

الفصل الرابع

المكونات الكيميائية للخلية

Cytochemistry

المكونات الكيميائية للخلية

المركبات اللاعضوية

الماء

الأملاح وأيوناتها

الغازات

المركبات العضوية

الكربوهيدرات

الشحوم

البروتينات

الأحماض الأمينية

تقسيم البروتينات على أساس فعاليتها الحيوية

الأيض

الحوامض النووية

الطاقة الحيوية

المكونات الكيميائية للخلية

Cytochemistry

تعد الخلية ذات مظاهر متعددة ومختلفة وهي معقدة التركيب وذات فعاليات حيوية متباينة، وقبل الشروع بدراسة مكوناتها الكيميائية لا بد من التعرف على العناصر المختلفة التي تؤلف الكيان الفيزيائي والكيميائي لهذه الخلية.

تعد الخلية أصغر وحدة حية ذات تنظيم كيميائي فيزيائي معقد يعمل نظاماً منسقاً لجعلها قادرة على القيام بأفعالها الحيوية المختلفة (كالتمثيل والنمو والتكاثر... الخ). وتتكون الخلية من ذرات عناصر كالهيدروجين والأوكسجين والكربون والحديد... الخ، تتحد مع بعضها لتكوين جزيئات صغيرة كالأحماض الأمينية والسكريات البسيطة.. الخ، وهذه الجزيئات تتحد مع بعضها لتكوين جزيئات كبيرة كالبروتينات والدهون والسكريات المتعددة والأحماض النووية، وهذه الجزيئات تتحد مع بعضها لتكوين عضيات الخلية كالنواة والميتوكوندريا والبلاستيدات.. الخ. وإن أهمية هذه الجزيئات تبرز من خلال حركة التطور والتغيير التي تعانيها بمرور الزمن فضلاً عن تفاعلاتها وارتباطاتها مع جزيئات أخرى ضمن محيطها، وإن كثير من هذه الجزيئات غني بالطاقة فعند تحليلها إلى جزيئات أصغر (عمليات الهدم Catabolism) تحرر طاقة، وعند اتحاد هذه الجزيئات مع بعضها لتكوين مركبات جديدة (عمليات بناء Anabolism) فإنها تحتاج إلى طاقة، وإن المصدر الرئيس لهذه الطاقة هو أشعة الشمس التي تأخذها النباتات الخضراء وتحولها إلى طاقة كيميائية بمساعدة الكلوروفيل الموجود في البلاستيدات الخضراء بعملية التركيب الضوئي (Photosynthesis)، وهذه الطاقة الكهربائية تأخذها الكائنات الحية التي تتغذى على النباتات فتستخدم جزءاً منها وتخزن الطاقة الزائدة في بعض الأجزاء من أجسامها ثم تأخذ هذه الطاقة (عن طريق التغذية) الكائنات آكلة اللحوم لكي تستخدم هذه الطاقة في عمليات البناء وتخزن الباقي في أجزاء من أجسامها.

وعند زيادة عمليات البناء على عمليات الهدم يحصل زيادة في النمو ونشاط الخلية والعكس يعني تدهور الحياة في الخلية، أما إذا حصل التوازن بين عمليات البناء والهدم فإن ذلك يعني أن الخلية في حالة استقرار (Steady state).

المكونات الكيميائية للخلية

تتشابه الخلايا المختلفة من حيث نوعية هذه المكونات إلا أنها تختلف من حيث نسبها وكمياتها، وبصورة عامة فإن الخلية تحتوي على نوعين من المركبات هما: المركبات العضوية واللاعضوية.

أ- المركبات اللاعضوية

وتشمل جميع المواد التي لا تحتوي جزيئاتها على أوأصر هيدروكربونية (C-H) وقد تندمج هذه المواد مع جزيئات كبيرة في الخلية لتكوين معقدات معينة، أو قد تبقى حرة لوحدها على شكل جزيئات صغيرة، أهمها الماء والغازات والأملاح وأيوناتها المختلفة.

1- الماء

وهو الجزء الأساسي والمهم في بناء معظم الخلايا الحية، وتختلف نسبته من خلية إلى أخرى وبشكل عام تتراوح نسبته بين 1% في خلايا الشعر والأظافر إلى 96% في خلايا بعض الكائنات الابتدائية البحرية ويوجد الماء على صورتين: إما بصورة حرة حيث يشكل حوالي 95% من ماء الخلية، أو قد يوجد بشكل مرتبط مع بعض المركبات العضوية الأخرى.

وللماء صفات كثيرة تجعله يساعد على حفظ درجة حرارة الخلية وتنظيم الأس الهيدروجيني لها كما يعد أفضل مذيب لكثير من المركبات الموجودة في عصير الخلية فضلاً عن ميله للارتباط مع جزيئات أخرى عن طريق الأواصر الهيدروجينية المتكونة فيه إذ أنه ثنائي الشحنتات (OH-H) وبوجوده تتم معظم التفاعلات الحيوية داخل الخلية، كما يعد وسط تعليق للنظام الفردي للبروتوبلازم، لهذا يعد ضرورياً لحياة الخلية وفقدانه يؤدي إلى هلاك الكائن الحي قبل نفاذ المخزون الغذائي في الجسم.

2- الأملاح وأيوناتها

وتشمل جميع الأملاح والحوامض والقواعد التي يمكنها التأين إلى أيونات موجبة

وأخرى سالبة مثل ملح الطعام ($\text{Na}^+ \text{Cl}^-$) وحامض الهيدروكلوريك ($\text{H}^+ \text{Cl}^-$) وهيدروكسيد الصوديوم ($\text{Na}^+ \text{OH}^-$) .. الخ. وقد توجد الأملاح داخل الخلية على شكل أيونات أو بشكل غير أيوني، والأيونات قد توجد بصورة حرة أو مرتبطة مع جزيئات أخرى عضوية، وتبرز أهمية الأيونات من خلال دورها في المحافظة على تنظيم الضغط الأوزموزي للخلية وجعل ماء الخلية موصلاً جيداً للكهربائية، فضلاً عن دورها في تحديد شكل الجزيئات الكبيرة وتركيبها في الخلية فمثلاً تدخل أيونات الفوسفات PO_4^{3-} في تركيب الأحماض النووية وأيونات الفوسفات الحامضية (HPO_4) في تركيب بعض البروتينات والدهون وأيونات الحديدوز في تركيب هيموكلوبين الدم والكلوروفيل وأيونات الحديد في الساييتوكروم وبعض الأنزيمات وأيونات النحاس والزنك والمغنيسيوم والمنغنيز والكوبلت والكالسيوم في تركيب بعض الأنزيمات الخاصة وتنشيط عملها وتدخل أيونات الفوسفات في تركيب الـ ATP المزود الرئيس للطاقة الكيماوية في التفاعلات الحيوية لعملية الفسفرة التأكسدية، وتوجد أيونات الكالسيوم في الدم وتتحد مع أيونات الفوسفات والكاربونات في خلايا العظم مكونة تنظيمياً بلورياً. ومن بين الأيونات المتحدة مع الجزيئات الكبيرة أيونات الفوسفات التي تكون الشحوم المفسفرة والبروتينات المفسفرة والسكريات المفسفرة والنيوكليوتايدات (وحدات بناء الأحماض النووية). ومن بين الأيونات الحرة الكبريتات والكربونات والبيكاربونات والمغنيسيوم وتعد أملاح الحديد من أهم الأملاح التي توجد بشكل غير أيوني وتكون متحدة مع بروتين الهيموكلوبين (مكملاً لحلقة البايرول Pyriol ، ومع الساييتوكروم.

وبصورة عامة فإن نوع الأملاح وتركيزها وأيوناتها في محلول الخلية يختلف من عملية إلى أخرى إلا أنها ضرورية لاستمرار الحياة داخل الخلية فمثلاً عند إزالة قلب ضفدع ووضعها في ماء مقطر، فإن خفقان القلب سيتوقف بعد عدة دقائق بسبب انتفاخ خلاياه بالماء المقطر نتيجة لزيادة الضغط الأوزموزي، وعند وضعه في محلول سكري محدد التركيز فإن فترة الخفقان (الحياة) ستطول عدة دقائق، وعند وضعه في محلول ملحي محدد التركيز فإن فترة الحياة ستطول أكثر، أما عند وضع القلب في محلول ملحي مكون من تراكيز محددة من أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم

والكلور فإن الحياة (الخفقان) ستستمر عدة أيام مما يؤكد أهمية هذه الأملاح لاستمرار حياة خلايا قلب الضفدع.

3- الغازات

توجد الكثير من الغازات الموجودة في الغلاف الجوي بشكل ذائب داخل الخلية، فمثلاً يوجد الأوكسجين مذاباً في ماء الخلية ويقوم بأksدة الكثير من مركبات الخلية لتوليد الطاقة اللازمة للبناء الحيوي، كما إنه يتحد مع الكربون لإنتاج غاز ثاني أوكسيد الكربون الذي يستخدم في عملية التركيب الضوئي في النباتات التي تتحكم في استمرار الحياة في الكائنات الحية، ولهذا يعد استهلاك الأوكسجين مقياساً جيداً لاختبار النشاط الأيضي في معظم الكائنات الحية.

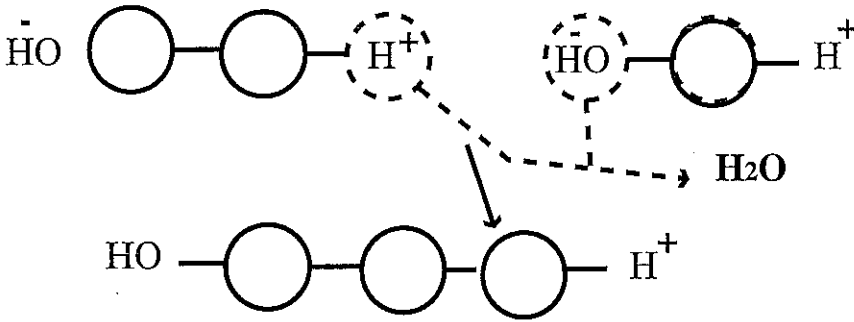
لا يستغل غاز النتروجين الذي يشكل حوالي 78% من الغلاف الجوي، مباشرة من قبل معظم الكائنات الحية باستثناء أنواع معينة من البكتريا والفطريات والطحالب، أما النباتات فإنها تستهلك نتروجين التربة بينما تحمل الحيوانات على حاجتها منه عن طريق البروتينات الموجودة في غذائها. كما تحصل الكائنات الحية على حاجتها من غاز الهيدروجين عن طريق المركبات العضوية واللاعضوية الموجودة في خلاياها.

ب- المركبات العضوية

تشمل جميع المركبات التي تحتوي جزيئاتها على أوأصر هيدروكربونية (C-H)، وقد توجد على شكل جزيئات صغيرة (Micromolecules) بشكل حر، أو متجمعة على شكل سلاسل طويلة من الجزيئات الكبيرة (Macromolecules) ذات الأهمية في خزن الغذاء أو بناء بعض التراكيب الخلوية.

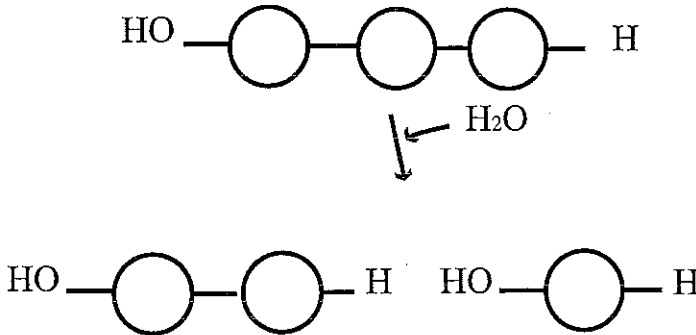
وتتكون الجزيئات الكبيرة من سلاسل من جزيئات متعددة أصغر مكونة ما يسمى بوليمرات (Polymers) متعددة، وكل بوليمير يمثل جزيئة (سلسلة طويلة) من وحدات تركيبية أحادية (Monomers) متشابهة ترتبط مع بعضها البعض بواسطة روابط تساهمية. وأهم الجزيئات الكبيرة في الخلية هي الكربوهيدرات والدهون والبروتينات والأحماض النووية. فالكربوهيدرات هي بوليمرات من وحدات (Monomers) السكر الأحادي، أما البروتينات بما فيها الانزيمات فهي بوليمرات مكونة من أحماض أمينية،

وتعد الأحماض النووية بوليمرات مكونة من النيوكليوتيدات (Nucleotides)، وأما عملية ارتباط الوحدات الصغيرة (Monomers) لتكوين البوليمرات (الجزئيات الكبيرة) فتتم عن طريق إزالة الماء أو النكز (Dehydration) وذلك بارتباط كل وحدتين (Monomers) مع بعضها بأصرة تساهمية (Covalent Bond) وتتزع مجموعة هيدروكسيل (OH) من الوحدة الأولى، ومجموعة هيدروجين (H) من الوحدة الثانية، وبذلك يتم انتزاع جزيئة ماء واحدة لكل أصرة متكونة في السلسلة (بوليمر) وكما موضح في الشكل الآتي:



ويتطلب انجاز عملية النكز (Dehydration Reaction) استهلاك طاقة توفرها بعض الأنزيمات البروتينية.

أما عملية تحلل البوليمرات الخاصة بهذه الجزئيات الكبيرة فتتم بعملية التحلل المائي (Hydrolysis) وهي عملية معاكسة للنكز إذ يتطلب توفير جزيئة ماء واحدة لكسر كل أصرة تساهمية في السلسلة وكما موضح في الشكل الآتي، مع وجود بعض الأنزيمات المحللة في هذه العملية.



وهذا يتم بعملية الهضم بعد تناول شريحة من اللحم (تحتوي على البروتينات والدهون) حيث تتفكك الجزيئات الكبيرة إلى وحداتها البسيطة بمساعدة الأنزيمات الهاضمة ويوجد الماء.

وتوجد الجزيئات الكبيرة في الخلايا بنسب متفاوتة تعتمد على نوع الخلية وحجمها ومرحلة تطورها، كما أنها تقوم بوظائف مختلفة، ويوضح الجدول (1-4) أنواع الجزيئات الكبيرة في الخلية الكبدية ونسبها، إضافة إلى تراكيبها ووظائفها المختلفة.

1- الكربوهيدرات Carbohydrates

هي عبارة عن جزيئات مكونة من الكربون والهيدروجين والأكسجين بنسبة 1:2:1 على التوالي وقد يحتوي بعضها على النتروجين والكبريت فضلاً عن ذلك، وصيغتها الجزيئية العامة هي (CH_2O) ، وهي على نوعين: كربوهيدرات بسيطة تتكون من سلسلة قصيرة من ذرات الكربون وتشمل السكريات الأحادية البسيطة، وكربوهيدرات معقدة تتكون من سلسلة طويلة (بوليميرات طويلة) من السكريات الأحادية المرتبطة مع بعضها وتشمل السكريات الشائبة والمتعددة التي تحتوي على كثير من الأواصر الهيدروكربونية (C-H) التي تخزن الطاقة فيها، ولذلك فإن وظيفة الكربوهيدرات الأساسية هي تخزين الطاقة في هذه الأواصر (والتي تتحرر عند تكسيرها)، فضلاً عن أنها تدخل في تركيب بعض التراكيب الخلوية.

2- الدهون Lipids

عبارة عن مركبات مختلفة غير قابلة للذوبان في الماء لكنها تذوب في المذيبات العضوية كالكحول والإيثر والكلوروفورم.. وتعد الأحماض الدهنية (Fatty acids) الوحدات البنائية الأساسية لهذه الدهون (انظر جدول 1-4) ومن أهمها: الدهون والزيوت، الدهون المفسفرة، الدهون الاسفنجية والسكرية، الستيرويدات، التربينات والـ (Prostaglandins).

3- البروتينات : Proteins

يتكون البروتين من سلسلة طويلة (polymer) واحدة أو أكثر من وحدات أحادية

(monomers) من الأحماض الأمينية المرتبطة مع بعضها بواسطة روابط قوية تسمى الأواصر الببتيدية (Peptide bonds)، وتشكل البروتينات القاعدة العضوية للبروتوبلازم حيث تتكون من عناصر الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيتروجين والكبريت التي تشكل نسبة عالية من وزن الخلية الجاف. كما تضم البروتينات أصنافاً متعددة ذات وظائف مختلفة يمكن الاطلاع عليها في الجدول (4-2).

جدول (4-1) : أنواع الجزيئات الكبيرة ووظائفها

الجليئات الكبيرة (1)	وحداتها الأساسية (مونوميز)	وظيفتها	مثالها
الكاربوهيدرات 5% النشا والكلايكوجين سليولوز كايتين الشحوم 12% الدهون الشحوم المفسفرة الستيريدات الترينينات البروتينات 17% الكروية البناية الأحماض النووية 7% DNA RNA	كلوكوز كلوكوز كلوكوز محور كليسروول+ثلاثة أحماض دهنية كليسروول+حامضين دهنيين+فوسفات أربع حلقات كاربون سلاسل كربونية طويلة الأحماض الأمينية الأحماض الأمينية النيوكليوتايدات النيوكليوتايدات	خزن الطاقة تركيب جدار الخلية تركيب جدار الخلية خزن الطاقة تركيب أغشية الخلية تركيب الأغشية والهرمونات تكوين الصفات، تركيبية أو بنائية التحفيز والنقل الدعم والتقوية السيطرة بواسطة الجينات يعمل كرسول ينقل الشفرة الجينية إلى أجزاء من الخلية	البطاطة الورقة صدفة السرطان Crab shells زبد، صابون الليستين الكولسترول، هرمون الاستروجين الكاروتين والمطاط rubber الهيموكلوبين الشعر والحريز الكروموسومات فيروس AIDS

(1) الوزن الجاف في خلية الكبد

الأحماض الأمينية : Amino Acids

تمثل الأحماض الأمينية الوحدات الأساسية في بناء البروتينات وتحوي الكائنات الحية 20 حامضاً أمينياً أساسياً والتي تتحول إلى آلاف الحوامض المحورة، ويختلف

عدد هذه الأحماض وترتيبها باختلاف نوع البروتين ، ولجميع الأحماض الأساسية الموضحة تراكيبها الجزيئية في الشكل (4-1) نفس التركيب الأساسي نفسه حيث يتكون كل حامض من مجموعة كربوكسيل (COOH -) ذات خواص حامضية في أحد تكافؤات ذرة الكاربون الأولى ومجموعة أمين (NH_2 -) ذات خواص قاعدية في التكافؤ الثاني. كما ترتبط ذرة هيدروجين في التكافؤ الثالث لذرة الكاربون نفسها، أما التكافؤ الرابع فيكون مختلفاً إذ يحمل سلسلة جانبية (R) كما موضح في الشكل (4-1) وتكون السلسلة الجانبية (R) هي المسؤولة عن تباين صفات الأحماض الأمينية والبروتينات.

جدول (4-2) : أشكال البروتينات ووظائفها

الوظيفة	نوع البروتين	المثال	الاستخدام
تركيبية	الألياف	الكولاجين Collagen كيراتين Keratin فايبرين Fibrin	الغضروف الشعر والأظافر تخثر الدم
أيضية	الأنزيمات	اللايسوسومات lysosomes/ البروتياز Proteases البولي ميريز Polymerases كاينيز Kinases	تحلل السكريات المتعددة تحلل البروتينات تكوين الأحماض النووية بعملية البلمرة فسفرة السكريات والبروتينات
النقل الغشائي	القنوات	مضخة الصوديوم/ بوتاسيوم مضخة البروتين قنوات نقل الأيونات السالبة (Anion)	الأغشية الاهتاجية Excitable membrane الأزموزية Chemosis انتقال أيونات Cl
التمييز الخلوي	مولدات المضادات لسطح الخلية	بروتينات MHC مجموعة الدم ABO	تمييز ذاتي كريات الدم الحمراء المتشابهة Identifies
تنظيم الأوزموزية	الألبومين	البومين مصال الدم	تحافظ على التركيز الأوزموزي للدم
تنظيم عمل الجينات	الكابحات Repressor	الكابح الراجعي Lac rep.	تنظيم الاستصاخ ((Transcription
تنظيم وظائف الجسم	الهورمونات	الأنسولين Insulin الفايبرسين Vasopressin الأوكسيتوسين Oxytocin	تنظيم مستويات الكلوكوز في الدم زيادة احتفاظ الكلية بالماء تنظيم إنتاج mild production
النقل خلال الجسم	الكلوبينات	هيموكلوبين مايوكلوبين مايتوكروم	نقل الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون في الدم نقل الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون في العضلة نقل الالكترونات

شكل (1-4) الأحماض الأمينية

الجذر الكيميائي (R) للحامض الأميني

صنف الحامض واسمه

الحوامض الأمينية المتعادلة

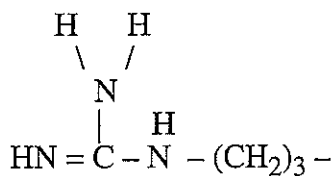
H —	Clycine كلايسين
CH ₃ —	Alanine الآلن
CH ₃ > CH —	Valine فالين
CH ₃ > CH — CH ₂ —	Leucine ليوسين
CH ₃ — CH ₂ — CH —	Isoleucine أيزوليوسين
CH ₃ — CH ₂ — CH —	Serine سيرين
CH ₃ — CH —	Threonine ثريونين
HO — CH ₂ —	
CH ₃ — CH —	
HO	

الحوامض الأمينية الحامضية

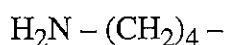
HOOC — CH ₂ —	Aspartic Acid حامض أسبارتيك
HOOC — CH ₂ — CH ₂ —	Glutamic Acid حامض كلوتاميك
O H ₂ N — C — CH ₂ —	الحوامض الأمينية الأميدية
O H ₂ N — C — CH ₂ — CH ₂ —	Asparagine اسباراجين
	Glutamine كلوتامين

الحوامض الأمينية القاعدية

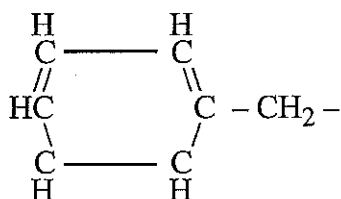
HC — C — CH ₂ —	Histidine هستدين
HN N	
\ //	
C	
H	



أرجينين Arginine

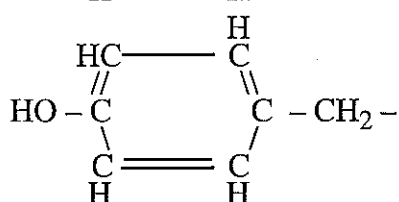


لاسين Lysine

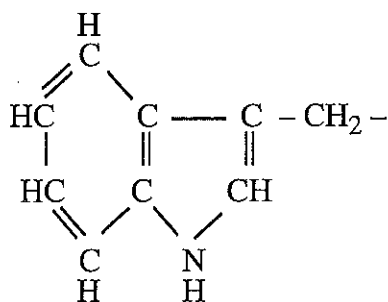


الحوامض الأمينية العطرية

فينيل ألانين Phenylalanine



ثايروسين Tyrosine



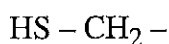
تريبتوفان Tryptophan

الحوامض الأمينية المحتوية على الكبريت

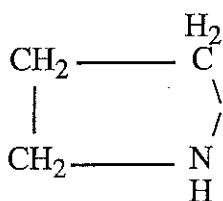
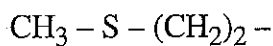
سيسيتين Cysteine

ميثونين Methionine

الحوامض الأمينية الثانوية



برولين Proline



شكل (1-4) الأحماض الأمينية

ويستثنى من هذه القاعدة الحامض الأميني كلايسين (Glycine) الذي يحمل ذرة هيدروجين ثانية ترتبط في التكافؤ الرابع لذرة الكربون الأولى (بدلاً من R)، وقد تم تصنيف الأحماض الأمينية الأساسية إلى خمس مجاميع اعتماداً على نوع الجذور المرتبطة بها (R) وكما يأتي:

1- أحماض أمينية لا قطبية (Nonpolar) إذ تتكون الجذور فيها من مجاميع $-CH_3$ و $-CH_2$ ، وتضم (الانين، فالين، ليوسين، آيزوليوسين).

2- أحماض أمينية عديمة الشحنات قطبية (polar uncharged) إذ تذوب الجذور فيها بسهولة في الماء، وتضم (كلايسين، سيرين، ثريونين، أسبارجين، كلوتامين).

3- أحماض أمينية أيونية (Ionizable) تكون جذورها بمثابة حوامض أو قواعد وتضم (حامض الكلوتاميك، حامض الأسبارتك، هستدين، لايسين، أرجنين).

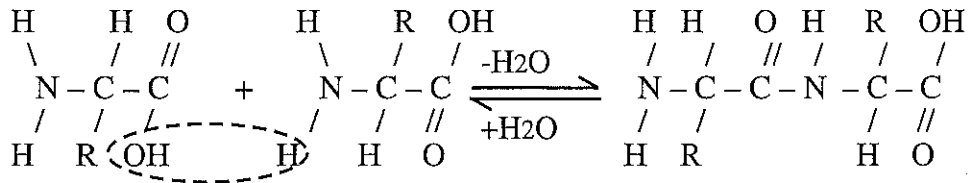
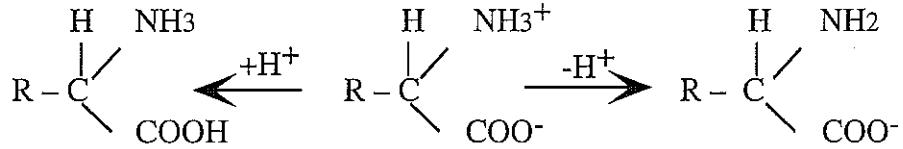
4- أحماض أمينية أروماتية أو حلقية (Aromatic) تحتوي على حلقة عضوية ذات أواصر مفردة ومزدوجة بالتبادل، وتضم (فينيل الالينين، تربتوفان، تايروسين).

وبالنظر لوجود مجموعة حامضية وأخرى قاعدية في الحامض الأميني في جعلها تعمل حامضاً أو قاعدة (كما تعمل محاليل منظمة داخلية (Buffer) بالاعتماد على الأس الهيدروجيني الخاص بالمحيط.

فعند إضافة حامض إلى البروتين تتكون شحنة موجبة نتيجة لتحول $(-COO^-)$ إلى $(-COOH)$ ، وعند إضافة محلول قلوي تتكون شحنة سالبة نتيجة لتحول $(-NH_3^+)$ إلى $(-NH_2)$ وكما موضح في الشكل (4-2) ويعتمد هذا التفاعل على الأس الهيدروجيني، وفي نقطة التعادل الكهربائي (Isoelectric point) التي تكون فيها الشحنة الموجبة مساوية للشحنة السالبة (الشحنة = صفر) يصبح البروتين راسباً.

وتتكون الروابط الببتيدية من ارتباط مجموعة الكربوكسيل $(-COOH)$ لأحد الأحماض الأمينية مع مجموعة الأمين $(-NH_2)$ لحامض أميني آخر مع انتزاع جزئية ماء واحدة عن كل رابطة وكما موضح في الشكل (4-1) وتسمى السلسلة الناتجة عن ارتباط الحامضين بالسلسلة ثنائية الببتيد (Dipeptide)، أما إذا كانت السلسلة مكونة من عدد قليل من الأحماض الأمينية فتسمى «قليلة الببتيد Oligopeptide» وقد تتكون

من عدد كثير من الأحماض الأمينية فتسمى متعددة الببتيد Polypeptide وقد تحتوي السلسلة الواحدة (البولي ببتيد المفرد) المفردة الموجودة في جزئية البروتين بين 40-500 حامض أميني في الحالات الطبيعية (وقد يصل إلى أكثر من 1000 حامض) من الأحماض الأمينية الأساسية العشرين.



شكل (2-4) تكون السلسلة الببتيدية

تحتوي جزئية البروتين غالباً على أكثر من سلسلة واحدة من السلاسل عديدة الببتيد (Polypeptides chains) وكل سلسلة تحتوي على نظام مستقيم من الأحماض الأمينية المتتابعة يختلف نوعها وعددها ونظام ترتيبها عن السلاسل الأخرى (ضمن الجزئية نفسها) مصطلح التركيب الأولي (primary structure) على جزيئات البروتين ذات السلاسل المستقيمة (بغض النظر عن عدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية في سلاسلها).

وهذه الجزيئات مستقرة لذلك تحاول الاستقرار عن طريق ارتباط الأحماض الأمينية الموجودة في سلاسلها بروابط ضعيفة ضمن السلسلة نفسها، أو بين السلاسل المختلفة لنفس الجزئية مكونة تركيباً جديداً يكون أكثر استقراراً، وأهم هذه الروابط الضعيفة:

الأواصر الهيدروجينية، والأواصر الكبريتية التساهمية.

تقسيم البروتينات على أساس فعاليتها الحيوية (جدول 4-4):

1- البروتينات الناقلة Transport proteins

تحمل الغذاء والغازات من موقع إلى آخر داخل جسم الكائن الحي كما في بروتينات الدم كالهيموكلوبين والمايوكلوبين

2- البروتينات الخازنة : Storage proteins

تعمل على تخزين المواد الغذائية (الطاقة) كالألبومين والكازئين.

3- البروتينات المتحركة : Moving Proteins

وهي تساعد في تقلص وانسحاب الأعضاء كالأكتين والمايوسين

4- البروتينات الهيكلية Skeletal Proteins

وهي التي تقوم ببناء بعض الأجزاء الخلوية كالكولاجين الذي يكون روابط بالجسم، والمطاطين فضلاً عن الكيراتين الذي يدخل في تكوين الجلد والشعر والمخالب والأظافر والقرون والريش.. الخ.

5- البروتينات الدفاعية Protective proteins

وهي التي تكسب الجسم المناعة الدافعية في حالات خاصة كما في الأجسام المضادة والفايبرينوجين (Fibrinogen) والسموم المضادة للبكتريا (Bacterial Toxins).

6- البروتينات المنظمة Regulated Proteins

وهي التي تنظم فعاليات الجسم الحيوية كالهورمونات.

7- بروتينات أخرى كما في بروتينات العين وبروتينات المونيلين (Monellin) حلوة الطعم (رغم انعدام الكربوهيدرات فيها) والبروتينات المضادة للتجميد في أجسام

الاسماك القطبية، والبروتينات القلافية Flavoproteins

8- الأنزيمات: Enzymes: هي بروتينات تعمل كعوامل مساعدة لتعجيل تفاعلات الخلية الكيماوية من خلال اتحادها مع مادة الأساس substrate لتكوين معقد أنزيم - مادة الأساس substrate complex-Enzyme والذي يتحلل إلى أنزيم حر ونواتجه، وكلما

جدول (4-4) الوظائف المتعددة للبروتينات المختلفة

الوظيفة	صنف البروتين	المثال	الاستعمال (الفائدة)
التركيب	ألياف	كولاجين كيراتين فابرين	الغضروف الشعر والأظافر تخثر الدم (جلطة الدم) Blood clot
الأيض الحيوي Metabolism	أنزيمات	اللايسوسومات البروتياز بولي ميريز كاينيز	تفسيخ السكريات المتعددة يحلل البروتينات ينتج أحماضاً نووية تحول السكريات والبروتينات إلى فوسفات
النقل الغشائي	أوعية "قنوات"	مضخة البوتاسيوم/صوديوم	الأغشية الاهتجاجية Excitable membranes
تمييز الخلية تمييز ذاتي Cell recognition	Cell surface antigens مستضدات سطح الخلية	مضخة البروتين قنوات الأنيون (السالب) السالبة (anion) بروتينات MHC مجموعة الدم ABO	الأوزموزية الكيمياء انتقال أيونات Cl
التنظيم الأوزموزية	الألبومين	Serum albumin ألبومين المصل	كريات الدم الحمراء المتماثلة يحافظ على التركيز الأوزموزي للدم
تنظيم عمل الجينات	الكبح	الكبح الصمغي الراجي	النسخ المنتظم (تنظيم النسخ)
تنظيم وظائف الجسم	الهورمونات	الأنسولين قناة Vasopressin أوكسي توسين Oxytocin	تنظيم مستويات كلوكوز الدم زيادة الماء بالكلية تنظيم إنتاج Mild
النقل خلال الجسم	الكلوبينات	هيموكلوبين مايوكلين سايتوكروم	حاملات الأوكسجين و Co2 في الدم حاملات الأوكسجين و Co2 في العضلة نقل الإلكترونات
الخزن	آصرة الأيون Ion-binding	الفيريتين Ferritin الكازين Casein الكالموديولين Calmdulin	يخزن الحديد (Fe) وخاصة في الطحال يخزن الأيونات في الحليب يربط أيونات الكالسيوم
التقلص	بروتين العضلة	الأكتين Actin المايوسين Myosin	تقلص ألياف العضلة تقلص ألياف العضلة
الحماية	الكلوبولينات المناعية Immunoglobulins السموم (Toxins)	الأجسام المضادة سم الثعبان Snake Venom	تكون بروتينات غريبة لأجل المناعة يعمل على تخدير العصب.

ازداد تركيز مادة الأساس ازداد نشاط الأنزيم رغم بقاء تركيزه ثابتاً - إلى أن يصل التفاعل أعلى معدلاته، ولا يتغير تركيب الأنزيم مطلقاً بعد انتهاء التفاعل.

تحتوي الخلية الحية نحو ثلاثة آلاف أنزيم، لكل منها آس هيدروجيني الأمثل optimum pH ودرجة حرارته المثلى optimum temperature الذي يبلغ نشاط الأنزيم ذروته فيهما، ويتم تثبيط عمل الأنزيمات باستعمال عدد من المواد الكيميائية، كما إن تغير التركيب البنائي الأولي أو الثاني أو الثلاثي أو الرباعي للأنزيم سيؤدي إلى تغير في نشاطه الأنزيمي.

يعتمد نشاط الأنزيم على وجود المركز الفعال active site فيه، والذي يرتبط الأنزيم من خلاله بمادة الأساس، كما تحوي بعض الأنزيمات والتي تسمى (الأنزيمات المنظمة Regulatory enzymes) على مراكز منظمة Regulatory sites إضافة إلى مراكزها الفعالة، حيث تعمل هذه الأنزيمات على السيطرة على نشاط الأنزيمات الأخرى مما ينظم معدل الأيض في الخلية الحية، كما إن بعض الأنزيمات تكون بحاجة إلى أيونات فلزية تحفز المركز الفعال أو تجعله ملائماً للاتحاد مع مواد التفاعل. كما إن البعض الآخر يكون بحاجة إلى مواد عضوية إضافية تسمى بالأنزيمات المساعدة Co-enzyme مثل الفيتامينات.

- تصنف جميع الأنزيمات علمياً وعالمياً إلى ست مجموعات هي:

- 1- أنزيمات التأكسد والاختزال: Oxidases and reductases : تعمل على إزالة جزيئات الهيدروجين وتساعد على إسراع عمليات التأكسد والاختزال.
- 2- أنزيمات التحلل: Hydrolysis : تعمل على المساعدة في تحلل المركبات إلى جزيئات أصغر بكسر بعض الأواصر وانتزاع جزيئة ماء منها (لكل رابطة).
- 3- الأنزيمات الناقلة: Transferases : وهي تعمل على نقل أو تحويل مجموعة أو جذر من مركب إلى آخر.
- 4- الأنزيمات الحالة: Lyases : وهي الأنزيمات التي تحلل بعض المركبات مع انتزاع مجموعة أو جذر أو اواصر مزدوجة.
- 5- أنزيمات النظائر: Isomerases : تعمل على تحويل المركب إلى نظيره وذلك عن طريق تحويل مجموعة من موقع إلى آخر.

6- الأنزيمات التركيبية (البنائية) Ligases or Synthetase : وهي تعمل على المساعدة في ربط عدة جزيئات لغرض تكوين مركب جديد.

الأيض Metabolism

يمكن تعريف الأيض بأنه «مجموعة التفاعلات الكيميائية الحيوية داخل الخلية الحية، التي تنظمها وتسيطر عليها عوامل أنزيمية وغير أنزيمية»، وعملية الأيض عملية معقدة لها أربع وظائف مهمة هي:

- 1- الحصول على طاقة كيميائية من هدم أو تحليل جزيئات الغذاء الغنية بالطاقة.
 - 2- استعمال هذه الطاقة لتحويل جزيئات الغذاء إلى مواد بناء أولية مثل الأحماض الأمينية وسكر الكلوكوز وغيرها.
 - 3- تخليق البروتينات والدهون والسكريات المعقدة والحوامض النووية حياتياً من مواد البناء الأولية.
 - 4- تخليق مكونات خلية جديدة حياتياً ثم تحليلها إذا انتفت الحاجة إليها.
- يمكن تصنيف العمليات الأيضية إلى نوعين:

- 1- الأيض الهدمي Catabolism التي تحلل الجزيئات الغذائية الغنية بالطاقة.
- 2- الأيض البنائي Anabolism التي تحدث فيها عمليات التخليق الحيوي لمكونات خلوية حياتية.

تحدث عمليات الأيض الهدمي في ثلاث مراحل أساسية:

- 1- يتم تحليل البروتينات - في المرحلة الأولى- إلى أحماض أمينية، فتحلل السكريات المعقدة إلى كلوكوز، فتحلل الشحوم إلى كليسروول وأحماض دهنية، وبمعنى آخر فإن الجزيئات الحياتية الكبيرة تتحول إلى مواد بناء أولية.
- 2- تتم أكسدة الأحماض الأمينية والكلوكوز والكليسروول والأحماض الدهنية -في المرحلة الثانية- إلى «استيل مساعد أنزيم أ Acetyl Co. A بصورة مباشرة، أو بصورة غير مباشرة عن طريق التحول إلى بايروفيت Pyruvate ثم إلى استيل مساعد أنزيم أ.

3- يتم تحول «استيل مسباعد أنزيم أ» في المرحلة الثالثة - إلى حامض ثلاثي الكربوكسيل Tricarboxylic Acid Cycle من خلال دورة حامض ثلاثي الكربوكسيل أو دورة كريس (Krebs) كما تسمى أحياناً، وإلى ثلاث نواتج رئيسية هي ثاني أكسيد الكربون وماء وغاز الأمونيا، كما يتم ضياع الطاقة الحيوية أو إطلاقها شكل جزيئات فوسفاتية مثل «أ الأدينين ثلاثي الفوسفات Adenine Triphosphate (ATP) أو «كوانين ثلاثي الفوسفات Guanine Triphosphate (GTP)»، وتستعمل الخلية هذه الجزيئات الخازنة للطاقة لاستعمالها لبناء جزيئات كبيرة من المواد الأولية.

تحدث عمليات «الأيض البنائي» في عدد من المراحل التي تختلف باختلاف المادة المراد تكوينها، كما إنها تأخذ وقتاً أطول من عمليات الهدم، ويمكن تشبيه العمليتين بصخرة ساقطة من قمة جبل، فعملية السقوط «أو الهدم» ستأخذ فترة قصيرة جداً، بينما تأخذ عملية إعادة الصخرة «أو البناء» فترة وجهد أكبر.

تنظيم عمليات الأيض

تسير عمليتا الهدم والبناء الأيضية بصورة متوازية متعكسة مع بعضها، وقد تختلف العمليتان بمجموعة أنزيمية محددة واحدة - في الأقل - تدعى «الأنزيمات المنظمة»، أو قد تكون لكل عملية هدم أو بناء مجموعتها الأنزيمية الخاصة بها (شكل 4-3).

توجد الأنزيمات المسؤولة عن هذه العمليات في مواقع مختلفة من الخلية، فبعضها في الغشاء البلازمي أو الماييتوكوندريا أو الرايبوسومات وغيرها من عضيات الخلية، وقد تم تحديد مواقع معظم أنزيمات الأيض داخل الخلية، كما تلعب الهرمونات دوراً هاماً في السيطرة على عملية الأيض، التي تتأثر بنسب تركيز نواتج عمليات الأيض، فانخفاض نسبة سكر الكلوكوز في جسم الكائن الحي سيؤدي إلى إيقاف عمليات البناء وبدء عمليات الهدم، وبالعكس، فالعمليات الأيضية هي عمليات معقدة منظمة وليست عشوائية.

(4) الحوامض النووية Nucleic Acids

تكون هذه الجزيئات العضوية الكبيرة داخل النواة، وتتكون من سلاسل طويلة (بوليمرات Polymers) التي تتكون من عدد من وحدات أحادية monomers تسمى

بالنيوكليوتيدات Nucleotides التي ترتبط مع بعضها بأواصر فوسفاتية phosphodiester bonds (جدول 4-1). وهناك نوعان من الحوامض النووية هما: الحامض النووي معدوم الأوكسجين - د ن آ Deoxyribonucleic acid-DNA الذي يوجد في النواة، والحامض النووي الرايبوزي - ر ن آ Ribonucleic Acid-RNA والذي يوجد في النواة والساييتوبلازم ، وسيتم تفصيل طبيعة الحوامض النووية وأهميتها كمادة وراثية في كتابنا (علم الوراثة).

مبحث الطاقة الحيوية Bioenergetics

يمكن تعريفه بأنه «حقل من حقول كيمياء الحياة المختص بدراسة تغيرات الطاقة في الخلايا الحية».

يمكن تقسيم التفاعلات الأيضية داخل الخلية إلى:

(1) التفاعلات الممتصة للطاقة التي يتم فيها اتحاد أدينوسين أحادي أو ثنائي الفوسفات AMP or ADP مع ذرة أو ذرتي فوسفور Pi لتكوين أدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP.

(2) التفاعلات المنتجة للطاقة التي يتم فيها تحلل أدينوسين ثلاثي الفوسفات إلى أدينوسين أحادي الفوسفات وثلاث ذرات من الفوسفور مما يؤدي إلى تحرر الطاقة.

تتبع جميع هذه التفاعلات قانوني الديناميكا الحرارية وهما:

القانون الأول: لا يمكن خلق أو تدمير الطاقة، وإنما يتم تحويلها من شكل إلى آخر نتيجة حدوث تغيرات فيزيائية أو كيميائية داخل الخلية الحية.

القانون الثاني: تبقى الطاقة في حالة توازن داخل الخلية الحية مهما كان نوع التغيرات الفيزيائية أو الكيميائية.

مراجع الفصل الرابع

- Bell, R.M. and Coleman, R.A., Ann. Rev. Biochem., 49 (1980) 459.
- Britten, R. and kohne, D., science, 161 (1968) 529.
- Butler, P.J.G and Klug, A. , Sci. Amer., 239 (1978) 162.
- Cavalier-Smith, T., Nature, 256 (1975) 463.
- Cohen, F., Nature, 296 (1982) 613.
- Dolittle, R. F., Sci. Amer., 253 (1985) 88.
- Fieser, L.E., Sci, Amer., 192 (1955) 52.
- Gilbert, W., Nature, 319 (1986) 618.
- Guerrier-Takada, C. and Altman,. S., Science, 223 (1985) 285.
- Hadley N.F, Biol. Rev., 56 (1981) 23.
- Jacob, F., Science, 106 (1977) 361.
- Klee, G.B., et al, Ann. Rev. Biochem, 49 (1990) 489.
- Morrell, P. et al, Sci, Amer., 242 (1980) 88.
- O'Farrell, P.H., J. Biol. Lhem., 250 (1975) 4007.
- Reanney, D., Nature, 277 (1979) 598.
- Rothman, J.E. and Lenard, J., Science, 195 (1977) 743.
- Watson, J.D, and Crick, F.H.C, Nature, 171, (1953) 737.
- Wilschut, J, and Hoekstra, D., Trends Biochem. Sci., 9 (1984) 479.
- Zaug, A.J. and Cech, T. R., Science, 231 (1986) 470.
- Neil, M.F., Metabolism, 1999, North Pub. Ltd., New York, USA.

Sbataski, O. and Guy, M. Amino Acids and Its Derivatives, 1998,
Chamdna Press Ltd, Bombay India.

Skein, F., Metabolism, 1998, Cantz Press Ltd., Philadelphia, USA.

الفصل الخامس

تنظيم الخلية

Structural Organizations

الفيروسات

أنواع الفيروسات

دورة حياة الفيروسات البكتيرية

الكائنات ذات الخلايا بدائية النواة

أ. البكتيريا

ب. الطحالب الخضراء المزرقة

ج. المايكوبلازما

الكائنات ذات الخلايا حقيقية النواة

تنظيم الخلية

Structural Organizations

تمثل الخلية أصغر وحدة أساسية في بناء أجسام الكائنات الحية، ويعد الكائن وحيد الخلية (Unicellular) إذا تكون من خلية واحدة فقط، ومتعدد الخلايا (Multicellular) إذا تكون من أكثر من خلية واحدة. وقد تم تصنيف الكائنات الحية على وفق الطرق التقليدية إلى شعبتين: هما نباتات وحيوانات على أساس وجود أو غياب بعض الأجزاء الخلوية المهمة كالجدار الخلوي الصلب (cell wall)، والبلاستيدة الخضراء (Chloroplast) المميزة في النباتات، إلا أن هذا التصنيف واجهته بعض المصاعب بخصوص وضع بعض الكائنات الشاذة، فمثلاً كائن اليوجلينا (Euglena) أحادي الخلية يحتوي على الكوروبلاست إلا أنه عديم الجدار، أما خلايا البكتريا والفطريات فإنها تحتوي على الجدار الخلوي لكنها عديمة الكلوروبلاست، لذلك اتجه علماء التصنيف للبحث عن تصنيفات أخرى تعتمد على خواص أخرى. وفي بداية الستينيات تم وضع تصنيف حديث اعتمد فيه على التنظيم الخلوي، وأدرجت جميع الكائنات الحية (عدا الفيروسات) ضمن مجموعتين هما: الكائنات ذات الخلايا بدائية النواة (Procaryotes)، والكائنات ذات الخلايا حقيقية النواة (Eucaryotes). تعني كلمة before = أي بدائي، وكلمة True = Eue أي حقيقي، وكلمة nucleus = karyon أي نواة. وتركت الفيروسات خارج هذا التقسيم كوحدة مستقلة قائمة بذاتها.

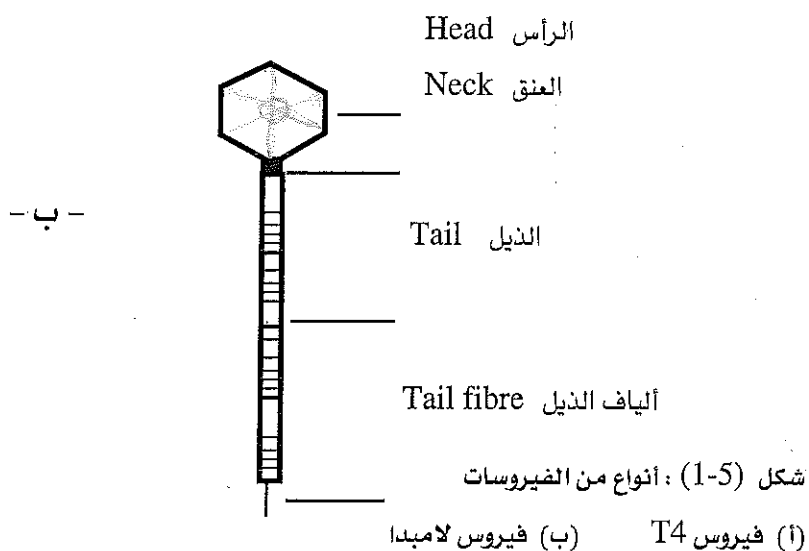
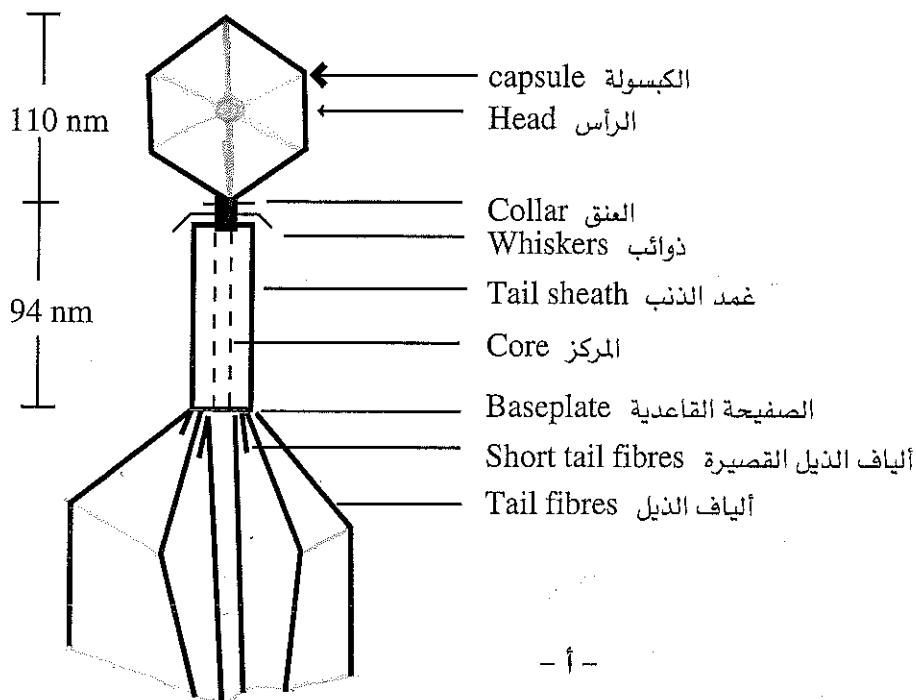
الفيروسات Viruses

عبارة عن كائنات صغيرة جداً يتراوح معدل حجمها بين 30-300 نانومتر تمر من خلال المرشحات (filters) التي لا تسمح بمرور البكتريا. ولا يعد الفيروس خلية بالمفهوم التقليدي، لأن الخلية مهما كانت صغيرة تحتوي على الحامضين النوويين (ر ن أ RNA و د ن أ DNA) معاً في آن واحد، إضافة الرايبوسومات وكثير من الجزيئات العضوية،

وكذلك الغشاء الخلوي (البلازمي) الذي يحيط بالخيط من الخارج ويحافظ عليها فيزيائياً، إضافة إلى عمله كمنظم لمرور المواد بين الخلية ومحيطها الخارجي، بينما يحتوي الفيروس على أحد الحامضين النوويين (DNA أو RNA) وليس كليهما، كما أنه لا يحتوي على أية عضوية من عضيات الخلية كالغشاء البلازمي أو الميتوكوندريا أو أي نوع من الجزيئات العضوية - ما عدا الفيروسات المعقدة التي تم اكتشاف نوع من الجزيئات العضوية فيها. ويحيط بالحامض النووي الفيروسي غلاف بروتيني يدعى «الكبسولة أو المحفظة Capsule» - شكل (5-1).

تم اكتشاف الفيروسات أول مرة على يد عالم النبات الروسي «إيوانووسكي Iwanowski» الذي لم يستطع رؤية العامل المسبب لمرض «موزاييك التبغ» من خلال المجهر، لذا سحق أوراق التبغ المصابة ورشحها خلال مرشح خاص ذي ثقوب صغيرة جداً لا تسمح بمرور أي نوع من البكتيريا خلالها، فوجد أن السائل المترشح يستطيع إصابة نباتات أخرى بالمرض، لهذا أكد وجود نوع من الكائنات الحية التي تسبب أمراضاً ولا يمكن رؤيتها، وسماها «فيروسات» وهي كلمة لاتينية تعني «سموم».

استطاع العلماء معرفة أشكال وأحجام العديد من الفيروسات من خلال استعمالهم مرشحات ذات ثقوب لها أشكال وأحجام معينة. وأكدت رؤية الفيروسات أول مرة من خلال المجهر الإلكتروني عام 1933 صحة وصدق تجارب العلماء، فمعظم الفيروسات عسوية أو كروية الشكل وإن كان بعضها يأخذ أشكالاً غريبة، ولجميعها نفس التركيب تقريباً، فهي تتكون من مادة وراثية قد تكون (DNA أو RNA)، يحيط بها غلاف بروتيني (الكبسولة) لحمايتها قد يتكون من سلاسل ببتيدية متشابهة أو سلاسل ببتيدية مختلفة، وقد يحتوي هذا الغلاف على بعض الكريوهدرات أو الشحوم في بعض أنواع الفيروسات. وقد فشلت جميع التجارب -حتى الآن- في حمل الفيروس على التكاثر خارج الخلية الحية، ذلك لأن الفيروسات «طفيليات» لا تحوي بداخلها أي انزيمات أو مصادر طاقة لحملها على التكاثر، ولكن عند اختراق حامضها النووي خلية ما، فإنه سيوجه الخلية وأنزيماتها لإنتاج فيروسات جديدة، وقد جعلت عدم قدرة الفيروس على التكاثر إلا داخل خلية حية بعض العلماء يعدونه كائناً غير حي أو وحدة



حياتية ناقصة، وذلك لأن الفيروس يتحول خارج الخلية إلى جزيئة غير حية متبلورة تدعى «فيروس» (Virion) وإلى أن يتاح له اختراق خلية، يتحول إلى جزيئة حية إذ لا بد من توفر ثلاث خصائص رئيسة في الخلية من أجل أن تعيش حياة حرة مستقلة دون الاعتماد على غيرها، وهي وجود الغشاء البلازمي أولاً، والجهاز الأنزيمي أو الآلية الأيضية الخاصة بإنتاج الطاقة اللازمة في عمليات البناء ثانياً، والقدرة على التكاثر وإنتاج النسل ثالثاً، فيتشابه الفيروس بهذا مع المايكوبلازما والبلاستيدات التي لا تستطيع التكاثر خارج الخلية رغم احتوائها على حامض نووي، وإن كانت تتكاثر داخل الخلية في ظروف معينة. بينما يؤكد علماء آخرون على عد الفيروسات كائنات حية مشيرين إلى قدرتها على التكاثر والطفور أولاً، وتخصصها الطفيلي ثانياً، فلكل خلية حية نوع معين من الفيروسات يتطفل عليها ويتعرف عليها نظراً لوجود تراكيب خاصة على غشاء البلازما في الخلية تسمح بالتصاق ذلك النوع من الفيروس عليها، ويعتقد هؤلاء العلماء أن الفيروسات تمثل المظهر الأخير في السلم التطوري للكائنات الحية، وربما كانت خلايا متكاملة متطورة في البداية ثم اعتمدت على خلايا أخرى تدريجياً في معيشتها، مما أدى بها إلى فقدان جميع عضيات الخلية عدا المادة الوراثية والغلاف البروتيني، كما فقدت آلياتها وفعاليتها، ولم تحتفظ إلا بقدرتها على العدوى والتكاثر فقط.

أنواع الفيروسات

تتشابه الفيروسات بصورة عامة في تركيبها العام إلا أنها تختلف فيما بينها في بعض الخصائص المهمة التي قد تستخدم في تسمية وتمييز الفيروسات عن بعضها البعض، ومن بين هذه الخصائص ما يأتي:

1- الشكل:

إذ يمكن تقسيم الفيروسات إلى ذات الشكل الكروي (spherical)، والعصوي (rodlike)، والمذنب أو متعدد السطوح (dodecahedral).

2- نوع المرض الذي تسببه:

يمكن تقسيم الفيروسات -تقليدياً- حسب نوع المرض الذي تسببه كما في حالة

الفيروسات التي تسبب مرض شلل الأطفال (polio)، الحصبة (measls)، والنكاف، (mumps) والانفلونزا (Influenza)، والجذري (Variola)، والقوباء البسيط الجلدي (herpes simplex) وغيرها التي تصيب الإنسان وفيروسات تبرقش أوراق التبغ (Tobacco mosaic) وتبرقش أزهار القرنبيط (Cauliflower mosaic)، وغيرها التي تصيب النباتات.

3- نوع النسيج الذي تصيبه:

كما في الفيروسات الغدية التي تصيب الغدد.

4- نوع العائل:

يمكن تقسيمها إلى فيروسات حيوانية (مادتها الوراثية «د ن آ» غالباً، وفيروسات نباتية (مادتها الوراثية «ر ن آ» غالباً، وفيروسات بكتيرية (الفاجات) والتي تكون مادتها الوراثية «د ن آ» أو «ر ن آ».

5- نوع الإصابة:

فهناك الفيروسات المرضية الخبيثة (Virulent)، أو المحللة (lytic)، وهناك التي تحدث إصابة معتدلة Lysogenic (Temperat)، كما تكون بعض الفيروسات غير مرضية (avirulent).

6- اعتماد بعض القواعد لتحديد بعض السلاسل الفيروسية المتسلسلة، كما في حالة فيروسات T التي تصيب بكتريا القولون Escherichia Coli والمتسلسلة من T1 و T2 ... T7، وفيروسات P22. التي تصيب Salmonella typhimurium

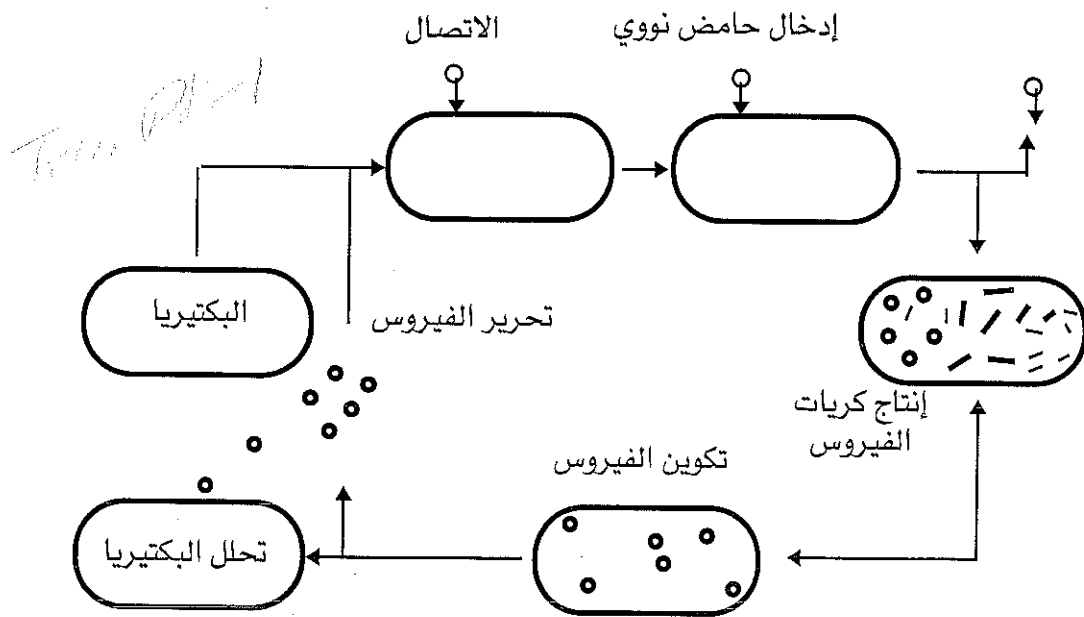
7- أهمية الحامض النووي:

يعد نوع الحامض النووي الموجود في تركيب الفيروس ذا أهمية خاصة في تقسيم الفيروسات وتمييزها من بعضها، فهناك فيروسات تحتوي على حامض (د ن آ DNA) ذي الشريط المفرد (Single stranded) كما هو الحال في فيروسات fd التي تصيب بكتريا القولون، وقد تحتوي الفيروسات على حامض (د ن آ DNA) ذي الشريط المزدوج (stranded double) كما في حالة فيروسات T2 و T4 و T6 التي تصيب بكتريا

القولون أيضاً، وفيروسات P22 التي تصيب *Saimonella typhimurium*، وفيروسات مرض القوباء البسيط الجلدي، وفيروسات مرض الجدري ومرض Epstein-Barr التي تصيب الإنسان، وفيروسات مرض تبرقش أزهار القرنبيط التي تصيب النبات. وأما الفيروسات التي تحتوي على حامض (ر ن آ RNA) ذي الشريط المفرد فتشمل فيروسات OB التي تصيب بكتريا القولون، وتبرقش أوراق التبغ الذي يصيب النبات، وشلل الأطفال، والحصبة، والنكاف، والانفلونزا التي تصيب الإنسان. وقد تحتوي الفيروسات على حامض (ر ن آ) ذي الشريط المزدوج (ds RNA) كما في حالة الفيروسات الراجعة retroviruses في الإنسان، وفيروسات الورم المجروح wound tumor التي تصيب النباتات.

دورة حياة الفيروسات Proliferative cycle of a virus

لا تستطيع الفيروسات التكاثر أو القيام بأي فعل حيوي ما دامت حرة، لذلك لا بد لها من إصابة بعض الخلايا والتطفل عليها. وأبسط دورة حياة للفيروس تمر بثلاثة أطوار رئيسية هي: الطور المعدي Infective phase، والطور الخضري Vegetative phase ثم طور إنتاج النسل Progeny Formation phase، فيبدأ الطور الأول المعدي مع التصاق الفيروس بموقع خاص محدد على جدار خلية حية، ثم يقوم الفيروس بمساعدة أنزيمات محللة معينة بإحداث ثقب في الجدار ليمر من خلاله الحامض النووي إلى داخل الخلية الحية، مع بقاء الهيكل البروتيني أو كبسولة الفيروس خارج الخلية، وعندها يبدأ الطور الخضري إذ يسيطر الحامض النووي للفيروس على جميع فعاليات الخلية الحيوية ويوجه آليتها لصنع كميات من الحامض النووي الفيروسي، وكذلك يتم صنع كميات كبيرة من البروتين الفيروسي، ويتم تجميع جزئيات الحامض النووي والبروتينات الفيروسية في الطور النهائي لتكوين جزئيات فيروسية جديدة بأعداد كبيرة مما يؤدي إلى إحداث اضطراب في الغشاء البلازمي للخلية وهذا يؤدي إلى تمزقه وتفجر وتحلل الخلية الحية وانطلاق الفيروسات الجديدة خارجها، ويعيد كل فيروس جديد منطلق دورة الحياة من جديد عند توفر الظروف الملائمة (الشكل 5-2).



الشكل (2-5) : دورة حياة الفيروس

تحدث الدورة الكاملة لحياة الفيروس في حالة توفر الظروف الملائمة لها، وتحدث في حالة الفيروسات المسببة لحالات مرضية Virulent viruses، ولكن في حالة عدم توفر الظروف الملائمة، أو في حالة بعض الفيروسات المسماة «الفيروسات المعتدلة Temperate Viruses» والتي سميت كذلك لأنها لا تسبب انفجار خلية «المضيف Host»، ففي مثل هذه الحالات يندمج الحامض النووي الفيروسي مع الحامض النووي الخلوي ويتضاعف معه ويبقى غير فعال لفترة طويلة إلى أن تحدث ظروف ملائمة تتيح له السيطرة على الخلية وبدء الطور الثالث والآخر.

الكائنات ذات الخلايا بدائية النواة Procarvates

هي كائنات وحيدة الخلايا تكون محتوياتها النووية (nucleoid) غير منفصلة عن الساييتوبلازم بغلاف نووي (nuclear envelope)، وتسمى النواة في هذه الحالة بدائية (pro-) أو كاذبة أو شبه نواة. وتتضمن خلايا هذه الكائنات خواص أخرى تميزها عن غيرها يمكن الاطلاع عليها في الجدول (1-5) الذي يقارن بين الخلايا بدائية النواة وحقيقة النواة. وتضم هذه الكائنات مجاميع كثيرة أهمها البكتيريا bacteria، وبيكتريا

الميكوبلازما (Mycoplasma) التي يطلق عليها اسم - (PPLO) Pleuropneumonia like Organisms، والطحالب المزرققة (Blue-Green Algae).

جدول رقم (1-5)

موازنة عامة بين الخلايا بدائية النواة والخلايا حقيقية النواة

الخلايا حقيقية النواة	الخلايا بدائية النواة	صفة المقارنة
معظمها كبير قطرها 10-100 ميكرومتر	معظمها صغيرة ذات قطر 1-10 ميكرومتر	1- حجم الخلية
1- وجود البروتين المرافق ل (د ن أ) في الكروموسومات 2- تحاط النواة بغلاف نووي 3- يشتمل على مجموعتين أو أكثر من مجاميع الارتباط. 4- يحدث استنساخ ل (د ن أ)	1- انعدام البروتين المرافق لحامض (د ن أ) في الكروموسومات 2- انعدام الغلاف النووي 3- يشتمل على مجموعة ارتباط واحدة one linkage group 4- لا يحدث استنساخ (Repetitious) (د ن أ) أو قد يكون قليل جداً.	2- نظام الوراثة
تحتوي على الكثير من الأغشية المميزة التي تحيط بالعضيات الساييتوبلازمية.	تكون مؤقتة إن وجدت	3- الأغشية الداخلية (العضلات)
توجد بمجاميع كبيرة	غير موجودة	4- الأنسجة
تتكاثر بالانقسام الخيطي Mitosis	انعدام الانقسام الخيطي Mitosis وتنقسم بالانقسام الثنائي أو التبرعم. الخ.	5- انقسام الخلية
يحدث نتيجة لالتحام الأنوية الكامل بين الكميات المتساوية ويرافقه الانقسام الاختزالي.	إذ وجد يكون انتقال الجينات باتجاه واحد مباشرة من الواهب Donar إلى المستلم (Recipient)	6- النظام الجنسي
الأسواط أو الأهداب المعقدة إن وجدت.	الأسواط البسيطة في بعض أنواع البكتيريا إن وجدت.	7- أعضاء الحركة
بالامتصاص أو التركيب الضوئي أو عملية الهضم.	معظمها بالامتصاص، وبعضها بعملية التركيب الضوئي.	8- التغذية

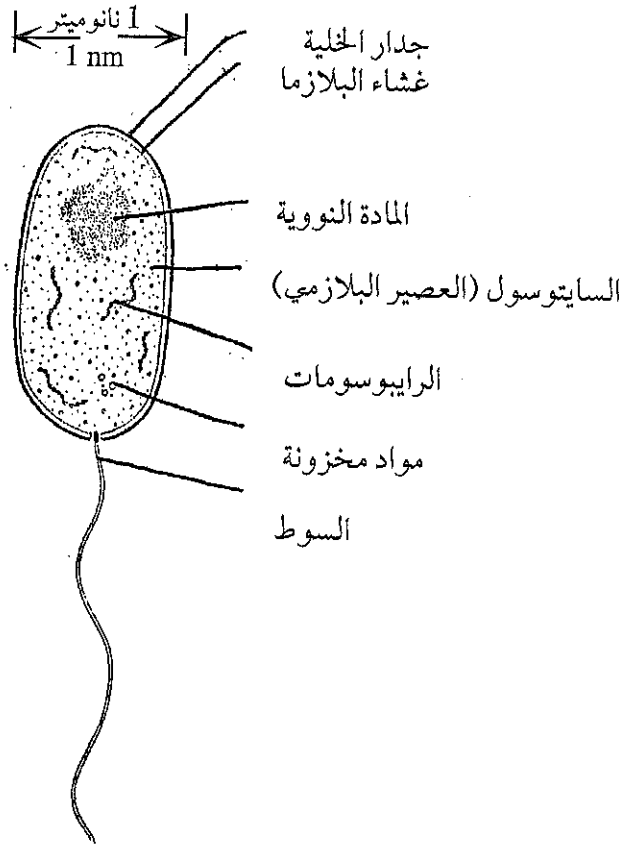
ويتراوح قطر الخلية بين 1-10 ميكرومتر باستثناء خلية الميكوبلازما التي تكون صغيرة جداً ويتراوح قطرها بين (0.1-0.3) ميكرومتر، وكذلك بعض خلايا الطحالب الخضراء المزرققة فقد يصل قطر الخلية في بعض المجاميع إلى (60) ميكرومتر كما في مجموعة (Oscillatoria Princeps).

أنواع الكائنات بدائية النواة

تحتوي كائنات بدائية النواة حوالي 20 عائلة مختلفة، أهمها:

1- البكتيريا Bacteria

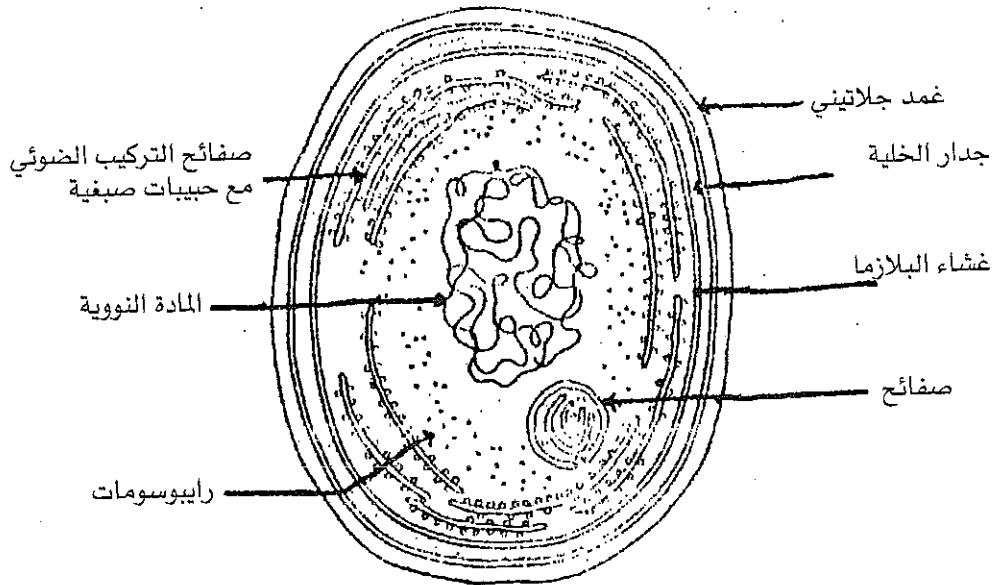
هي أكبر عائلات بدائية النواة، ويقدر حجمها بثلاثة أرباع الكائنات المجهرية في الكرة الأرضية، ويحتوي غرام واحد من التربة ما بين عدة آلاف إلى عدة مئات الملايين من البكتيريا، والتي يقدر قطر الواحدة منها ما بين 0.5 - 2 مايكرون (وما يقارب حجم مايتوكوندريا الخلايا الحقيقية)، ويمكن تقسيم البكتيريا حسب أشكالها أو حسب نوع تغذيتها أو حسب حركتها.. الخ، وتتكاثر جميع أنواع البكتيريا تكاثراً لا جنسياً وإن تم العثور على أدلة تثبت وجود التكاثر الجنسي في بعض أنواعها (شكل 3-5).



شكل (3-5): مخطط عام للبكتيريا النموذجية

ب- الطحالب الخضراء المزرقة: (Cyanobacteria) Blue-green Algae

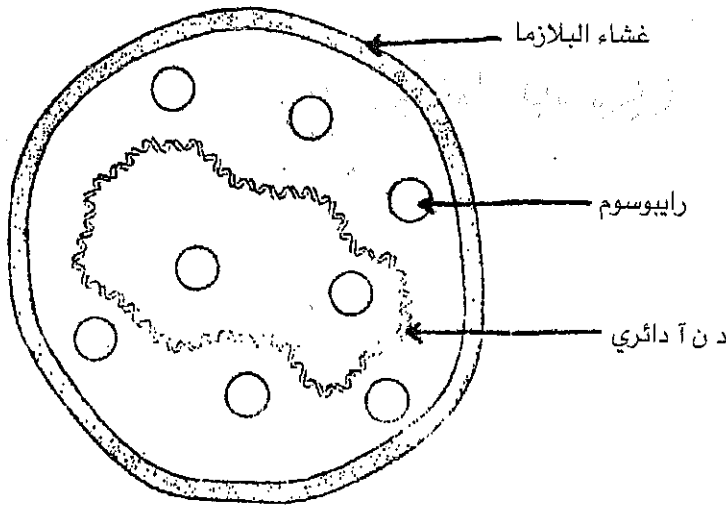
وهي كائنات وحيدة الخلية توجد بصورة مفردة أو على شكل تجمعات أو مستعمرات على هيئة عناقيد صغيرة أو خيوط وسلاسل طويلة، وتتميز بقدرتها على صنع غذائها بنفسها بعملية التركيب الضوئي. ورغم كون معظمها ذات لون أخضر مزرقي إلا أنها توجد في عدة ألوان اعتماداً على نسب الصبغات الموجودة (كلورفيل A، كارونين، بيليبروتين (Biliproteins)، وسميت جميعها بالطحالب الخضراء المزرقة لأن أول نوع عرف منها كان بهذا اللون. وتتكون الخلية النموذجية للطحلب الأخضر المزرقي وكما موضحة في الشكل (4-5) من نفس المكونات الموجودة في خلية البكتريا باستثناء انعدام وجود الأسواط (عضو الحركة)، كما تحاط خلية الطحلب بغلاف جيلاتيني يحل محل المحفظة (Capsule) في الخلية البكتيرية، فضلاً عن وجود جهاز التركيب الضوئي (في خلية الطحلب) والذي يتألف من صفائح التركيب الضوئي (Photosynthetic Lamellae) التي تحتوي على حبيبات صبغية تسمى (Phycobilosomes)، ومن أمثلة هذه الطحالب: Oscillatoria, Nostoc Anabaena



شكل (4-5): الطحالب الخضراء المزرقة

ج- المايكوبلازما، Mycoplasma

ويطلق عليها اسم (Pleuropneumonia-like organisms pplo) وهي أصغر خلية في الكائنات الحية تعيش بصورة حرة حيث يصل قطرها إلى نحو 0.1 ميكرومتر، وتصيب الإنسان والحيوان وتسبب لهما بعض الأمراض، وهي تشبه البكتيريا من حيث نموها على الوسط الغذائي، وتشابه الفيروسات من ناحية حجمها، وقد يقل حجمها عن حجم بعض الفيروسات الكبيرة وتتكون خلية المايكوبلازما النموذجية كما في الشكل (5-5) من غشاء بلازمي خارجي يتكون من البروتين والدهن يحيط بالخلية التي تحتوي على السايكوبلازم وبه عدد من الرايوسومات، أما المادة الوراثية للخلية فتتكون من حلقة من حامض (د ن آ) ذي لولب حلزوني مزدوج.



شكل (5-5): المايكوبلازما

تركيب الخلية بدائية النواة

توجد ثلاث مكونات رئيسية في جميع الخلايا بدائية النواة هي: الغشاء البلازمي، والرايوسومات، والمحتويات النووية nucleoid، (والتي سيتم شرحها تفصيلاً في الفصول القادمة)، وهناك مكونات خلوية أخرى يختلف وجودها باختلاف المجاميع والأنواع منها:

1- جدار الخلية Cell wall

هو الجزء الخارجي الصلب الذي يغلف الخلية بدائية النواة، خاصة البكتيريا، ويمنحها القوة، ويجعلها تأخذ الشكل المناسب، كحاجز فيزيائي يحمي غشاء الخلية من المؤثرات الخارجية. ويعتقد بأنه غير حي ويتكون من إفرازات المادة الحية الموجودة داخل الخلية، ويختلف من الناحية الكيميائية عن جدار الخلية النباتية الحقيقية، إذ يتكون من البروتينات والدهون والسكريات المتعددة (خلافًا لجدار الخلية النباتية الذي يتكون من السيلولوز). وتشكل مكوناته من مادة الببتيد المخاطي (mucopeptide) وهو معقد بروتيني كربوهيدراتي ويعد الأساس في تصنيف البكتيريا في كيمياء الأنسجة، فعندما تكون هذه المكونات عالية تسمى البكتيريا موجبة لصبغة كرام (gram positive) ومثالها بكتيريا *Bacillus subtilis*، وعندما تكون منخفضة تسمى البكتيريا سالبة لصبغة كرام (gram negative) ومثالها بكتيريا القولون. وقد يحاط جدار الخلية البكتيرية في بعض الأنواع بتركيب خارجي إضافي يسمى المحفظة أو الكبسولة (Capsule)، ويمنح الجدار مع الكبسولة الشكل والهيئة للخلية فضلاً عن كونها حاجزين فيزيائيين.

2- الأغشية الساييتوبلازمية الرقيقة Lamellate Cytomenbranes

في ساييتوبلازم بعض أنواع البكتيريا، لا سيما ذات التغذية الذاتية autotrophic إذ تساعد في دعم نموها خلال عمليات الأيض metabolism، إلا أن هذه الأغشية ليست تراكيب مميزة كما هو الحال بالنسبة للشبكة الاندوبلازمية للخلايا حقيقية النواة ولا يمكن مقارنتها بها.

3- الأسواط البكتيرية Bacterial Flagella

يتحرك كثير من أنواع البكتيريا بسوط واحد أو أكثر وتنتقل من خلاله، ويخرج السوط البكتيري من حبيبة قاعدية صغيرة في الساييتوبلازم مخترقاً الغشاء البلازمي وجدار الخلية. ويكون السوط البكتيري أصغر حجماً وأبسط تنظيماً من سوط الخلية حقيقية النواة، ويتألف من خيط مفرد (Spiral wire) مكون من ألياف طويلة ذات بروتينات كروية من نوع السوطين (Flagellin)، ومحاط بغمد (Flexible tube) خارجي. وتكون حركة السوط دورانية كالمروحة، وقد تكون خلية البكتيريا ذات سوط

واحد أو متعددة الأسواط (multiflagellate) - انظر الفصل السابع.

ولكن معظم الخلايا بدائية النواة (أو الابتدائية) عديمة الأسواط - عدا أنواع مختلفة من البكتريا.

الكائنات ذات الخلايا حقيقية النواة: Eucaryotes

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

وتشمل هذه الكائنات مجاميع كبيرة تتدرج من بسيطة التركيب كالابتدائيات Protozoa، والفطريات Fungi، والطحالب Algae، وإلى الكائنات الراقية معقدة التركيب كالحيوانات اللبونة mammals، والنباتات مغطاة البذور (Angiosperm).

تركيب الخلية حقيقية النواة

هناك تقارب بين الخلايا بدائية النواة والخلايا حقيقية النواة واختلافات أساسية يمكن التعرف عليها في الجدول (2-5)، كما تختلف الخلايا حقيقية النواة فيما بينها بالشكل، والحجم، والتركيب، والوظيفة، وفي وجود بعض التراكيب الخلوية أو غيابها (لا سيما بين الخلية النباتية والحيوانية)، على ما مبين في الجدول (2-5) الذي يقارن بين خلية البكتريا بدائية النواة والخلية النباتية والحيوانية الحقيقية النواة، إلا أنها تتشابه في كثير من الخواص لا سيما في وجود بعض الأجزاء الخلوية المشتركة، وأهمها: الغشاء البلازمي، الساييتوبلازم، النواة، الغلاف النووي، الأغشية الخلوية الداخلية المحيطة بالعضيات الساييتوبلازمية، العضيات الساييتوبلازمية وأهمها الشبكة الأندوبلازمية، والرايبوسومات، وجهاز كولجي، والميتوكوندريا، والهيكل الساييتوبلازمي، والأجسام الحالة (اللايسوسومات).

جدول (2-5)

مقارنة بين تركيب الخلايا البكتيرية والحيوانية والنباتية

التركيب الخلوي	الخلية البكتيرية	الخلية الحيوانية	الخلية النباتية
1- جدار الخلية	موجود ومؤلف من البروتينات المتعددة.	غير موجود	موجود ومؤلف من السليلوز
2- غشاء الخلية	موجود	موجود	موجود
3- الفجوات	غير موجود	غير موجودة أو صغيرة	تكون كثيرة، ومفردة وكبيرة في الخلية الناضجة.
4- الأسواط	موجودة على شكل خيط واحد مفرد	كثير ما توجد بنظام (2-9)	غير موجودة باستثناء السببومات في القليل منها موجودة.
5- الأنبيبات الدقيقة (Microtubules)	غير موجودة	موجودة	موجودة
6- الشبكة	غير موجودة	موجودة	موجودة
7- النواة	غير موجودة	موجودة	موجودة
8- الأجسام الحالة Lysosomes	غير موجودة	موجودة	توجد في تراكيب مرادفة تسمى Sphero-somes
9- أجسام كولجي	غير موجودة	موجودة	موجودة
10- المايتركونديريا	غير موجودة	موجودة	موجودة
11- البلاستيدة	غير موجودة	غير موجودة	موجودة
12- الكروموسومات	حلقة مفردة من ال (DNA) المجرد من البروتينات	وحدات مزدوجة من ال (DNA) ذات البروتينات المرافقة.	وحدات مزدوجة من ال (DNA) ذات البروتينات المرافقة.
13- الرايبوسومات	موجودة	موجودة	موجودة
14- الأجسام المركزية Centrioles	غير موجودة	موجودة	غير موجودة

*التركيب الموجودة في خلايا الكائنات حقيقية النواة الأخرى (الابتدائيات Protiste والفطريات Fungi) مختلفة ولكنها تشترك بالخواص الأساسية نفسها للخلايا حقيقية النواة حيث أن معظمها لها جدار خلوي، وأجسام مركزية، كما تمتلك اللكوردبلاست في الابتدائيات (كالطحالب).

تتميز الخلية النباتية من الخلية الحيوانية بوجود الجدار الخلوي الصلب (Cellwall) الذي يحيط بالغشاء البلازمي ويحتوي على النقر Pits التي تخترقها الروابط البلازمية (plasmodesmato) التي تؤمن الاتصال بين الخلايا المتجاورة، كما تحتوي أيضاً البلاستيدات (plastids) وبشكل خاص الخضر (Chloroplast) التي تلعب دوراً مهماً في عملية صنع الغذاء بالتركيب الضوئي، فضلاً عن وجود الفجوات.

سنناقش في الفصول القادمة التراكيب المشتركة بين الخلايا حقيقية النواة بدءاً بالغشاء البلازمي ثم العضيات الساييتوبلازمية.

مراجع الفصل الخامس

- Cheung, W. Y., Sci Amer., 246 (1982) 48.
- Coslett, V.E., Trends Biochem. Sci., 101 (1985) 361.
- Dickerson, R.E., Sci. Amer., 239 (1978) 70.
- Diener., T.O., Sci. Amer., 244 (1981) 66.
- Hubbard, S.c. and Ivatt, R.J., Annu. Rev. Biochem., 50 (1981) 555.
- Marx, J.L/. Science, 222 (1983) 1109.
- Orci, L. et al, J. Uitra Res., 35 (1971) 1.
- Osborn, M. and Weber, K., Cell, 12 (1977) 561.
- Perutz, M., Sci. Amer., 239 (1978) 68.
- Riesner, D. and Gross, H.J., Ann. Rev. Biochem., 54 (1985) 531.
- Ross mann, M.G. and Arges, P., Ann. Rev. Biochem , 50 (1978) 497.
- Schopf, W., Sci. Amer., 239 (1978) 110.
- Stadel, J.M. et al, Adv. Enzymal., 53 (1982) 2.
- Staneloni, R.J. and Leloir, L.F., Trends Biochem Sci., 4 (1979) 65.
- Watson, J.D. and Crick, F.H.C. Nature, 171 (1953) 737.
- Woese, C.R., Sci, Amer, 244 (1981) 98.
- Nyial, F.S., Viruses, 1997, North Pub. Ltd., New York, USA.
- Taylor, S., Prokaryotes, 1998, North Pub. Ltd., New York, USA.

الفصل السادس

الغشاء البلازمي

Plasma Membrane

- أهمية الغشاء البلازمي
- التركيب الكيميائي للأغشية البلازمية
- التركيب الجزيئي للغشاء البلازمي
- النمط المزدوق السائل
- التركيب الدقيق للغشاء البلازمي
- تحويلات وتخصصات الغشاء البلازمي
- طرق انتقال المواد عبر الغشاء البلازمي

الغشاء البلازمي

Plasma Membrane

أهمية الغشاء البلازمي ووظائفه:

تحتوي الخلية على عدد من الأغشية البلازمية التي تعمل على عزل الساييتوبلازم وبعض العضيات الأخرى (كالنواة والميتوكوندريا والكلوروبلاست.. الخ) بعضها عن بعض، وتهيئ لها بيئات صغرى لتأدية وظائفها الحيوية بصورة صحيحة وبدون تداخل. ويمثل الغشاء البلازمي أو ما يسمى بغشاء الخلية Cell membrane أو البلازماليمما Plasmalemma الجزء الخارجي الرقيق الذي يحيط بالخلية (الساييتوبلازم والعضيات) ويعزلها عن محيطها الخارجي، مكوناً حاجزاً غشائياً ذا نفاذية اختيارية Selectively Permeable يسمح بنفاذ بعض المواد من خلاله بسهولة، والبعض الآخر بصعوبة، وقد لا يسمح بمرور مواد أخرى بتاتاً في ظروف معينة أو دائماً، فهو ينظم مرور المواد من الخلية الحية واليها، ويعد هذا الغشاء من الأغشية الحية والمرنة التي لها القدرة على تجديد التآلف منها، كما أنه غير متجانس السمك ويحتوي على ثقبوب صغيرة وكثيرة تسمح بمرور الماء وبعض المواد ذات الجزيئات الصغيرة التي تذوب في الماء، وفي خلايا بعض الأنسجة تتحور بعض الأجزاء فيه لتكون نحورات وتخصصات معينة فائدتها زيادة المساحة السطحية الماصة، وزيادة نفاذ المواد عبر الغشاء، فضلاً عن زيادة درجة الاتصال وانتقال المواد بين الخلايا المتجاورة.

يحتوي الغشاء على الكثير من الأنزيمات وحاملات الأيونات لا سيما الجزء البروتيني منه، فإنه يعد المكان المناسب لحدوث الكثير من العمليات الحيوية كالامتصاص ونقل الطاقة. كما تتحور بعض أجزائه للقيام بوظائف خاصة كالالتهام الخلوي (Phagocytosis)، والشرب الخلوي (pinocytosis)، ففي عملية الالتهام الخلوي يُكوّن الغشاء تراكيب كيسية وانشاءات حويصلية تسمى الأجسام الملتهمية (Phagosomes) حول بعض المواد ذات الجزيئات الكبيرة الصلبة التي يراد إدخالها إلى الخلية. أما في

عملية الشرب الخلوي فيكون الغشاء انشاءات قنوية تسمى (أقنية الشرب الخلوي Pinocytotic Channels) حول الجزيئات السائلة التي يراد ابتلاعها، حيث تنفصل من هذه الأقنية المملوءة بالسائل حويصلات صغيرة تسمى أجسام الشرب Pinosomes.

التركيب الكيميائي للأغشية البلازمية

تتكون الأغشية البلازمية، بشكل عام (رغم التباين الواسع في تركيبها الكيميائي) من البروتينات والدهون ونسبة قليلة من الكربوهيدرات، وتكون السيادة للبروتينات على جميع المركبات الأخرى باستثناء أغشية النخاعين (myelin) التي تغلف الخلايا العصبية والتي تكون السيادة فيها للدهون، كما هو مبين في الجدول (1-6).

جدول (1-6) النسب المئوية لمكونات الأغشية البلازمية المختلفة

المكونات	الكريات الحمراء في دم الإنسان	الأقراص الدموية للإنسان	كبد الفأر	كبد الجرذ	عصى الشبكية	النخاعين البشري	النخاعين البقري
البروتينات	60	52	58	58	58	22	30
الدهون	33	39	41	32	40	78	64
الكربوهيدرات	7	9	1	1	2	0	6

1- البروتينات التكاملية (الداخلية)

تمثل معظم بروتينات الغشاء، وترتبط مع بعضها داخل الغشاء بقوة كبيرة عن طريق التفاعلات المحبة للماء أو الكارهة له، أو كليهما، بحيث يصعب فصلها بطرق الاستخلاص العادية، ويعتقد أن جزيئاتها ثنائية الشكل، إذ يكون نصف سطح الجزيئة تقريباً ذا قطبية عالية (محبة للماء) فيرتبط بالحوامض الأمينية ذات القطبية العالية، أما النصف الآخر من الجزيئة والذي يكون عديم القطبية (كاره للماء) فيرتبط مع الحوامض الأمينية عديمة القطبية، وهذه الصفة الثنائية للجزيئات يعتقد أنها المسؤولة عن استمرارية غشاء الخلية وجعل البروتينات غير ذاتية مع صعوبة فصلها.

ب- البروتينات المحيطية (الخارجية)

تشمل البروتينات الإضافية المرتبطة بالغشاء الأصيل التي تقع في أقرب نقطة من السطح الخارجي للغشاء، وهي إما أن تكون متآصرة مع البروتينات الداخلية (التكاملية) عن طريق الثبات الكهربائي أو الشحوم المفسفرة، أو أنها تدخل في تكوين عناصر مهمة كالأنزيمات.

وقد تبين من التحليل الكيميائي لبروتينات الغشاء أن لها محتوى عالياً من الأحماض الأمينية المحبة للماء والكارهة له، كما أن هنالك نقصاً كاملاً تقريباً في الأحماض الأمينية الحاوية على الكبريت كالستئين Cysteine والستين Cystine. ويمكن ملاحظة نسبة الحوامض الأمينية المحبة للدهن (كارهة للماء) والمحبة للماء لعدد من الأغشية الخلوية في الجدول (2-6).

جدول (2-6) نسب الحوامض الأمينية في عدد من الأغشية الخلوية

نوع الغشاء	أحماض أمينية محبة للشحوم	أحماض أمينية محبة للماء	حامضية
نخاعين	44.6	22	12.4
كريات الدم الحمر	53.4	12	20.2
مايتوكوندريا	53.4	12.7	18

2- الشحوم

أظهرت التحليلات الكيميائية للمواد الشحمية في الغشاء البلازمي أنها تتألف بشكل خاص من اليفسفونين Phosphatidyl Choline، والنفخاعين الإسفنجي (Sphingomyelin)، والكوليسترول (Cholesterol)، والشحوم السكرية، والحوامض الدهنية، والكليسرين، وأن تركيب الأغشية يختلف باختلاف الغشاء وعمر الخلايا. وبشكل عام فإن الشحوم المفسفرة هي السائدة في المكونات الدهنية للغشاء، ويمكن ملاحظة ذلك في الجدول (3-6) الذي يوضح النسب المئوية لمكونات الغشاء الخاص بالثدييات.

جدول (3-6) النسب المئوية لمكونات أغشية الثدييات

المكونات	النخاعين Myelin	الغشاء البلازمي للكرية الحمراء	الغشاء البلازمي للكبد	الغشاء البلازمي للمايتوكوندريا
البروتين	22	60	60	76
الشحوم الكلية	78	40	40	24
الشحوم المفسفرة	33	24	26	22
الشحوم السكرية	22	كمية نادرة	صفر	كمية نادرة
كولسترول	17	9	13	1
شحوم أخرى	6	7	1	1

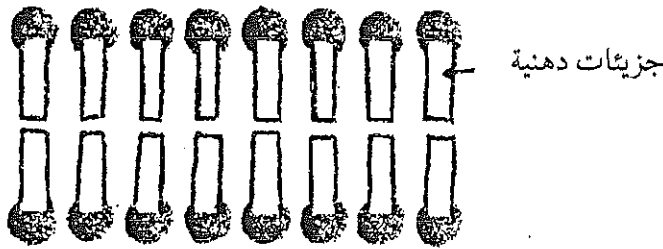
4- الكربوهيدرات

توجد معظم المواد الكربوهيدراتية في الكأس السكري للطبقة الخارجية للغشاء البلازمي، وتكون مرتبطة بالبروتين السكري، والشحوم السكرية وغيرها من البولييميرات. وتتكون الكربوهيدرات بشكل خاص من الهكسوزات (السكريات السداسية Hexoses) والفيوكوز Fucose، والسكريات السداسية الأمينية hexoseamines، وحامض السياليك Sialic acid، وتكون مرتبطة بالسطح الخارجي للغشاء البلازمي. وتوجد كميات قليلة من حامض السياليك على شكل gangliosides في الغشاء البلازمي أيضاً، كما تشكل gangliosides المكونات الأساسية لسطح الغشاء البلازمي للأعصاب.

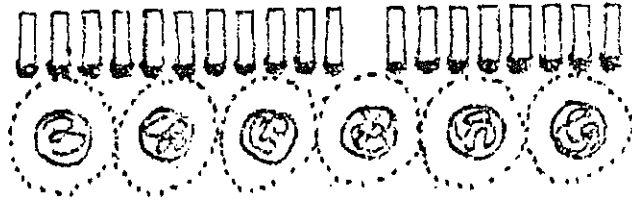
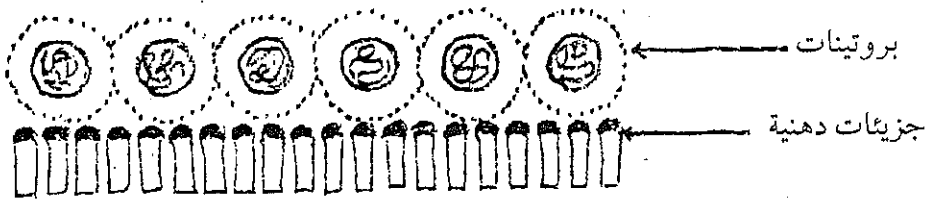
التركيب الجزيئي للغشاء البلازمي

تعد الأغشية الخلوية ذات تراكيب متغيرة باستمرار وغير ثابتة، فهي تتغير بين لحظة وأخرى ومن موقع خلوي لآخر، ولا يمكن مشاهدتها بالمجهر الضوئي، لذلك تباينت الآراء فيها وافترضت عدة أنماط (نماذج) للغشاء البلازمي تطورت حسب وجهة نظر الباحث وطبيعة الانتقادات الموجهة لها. واعتمد تركيبها بشكل خاص على تحليل

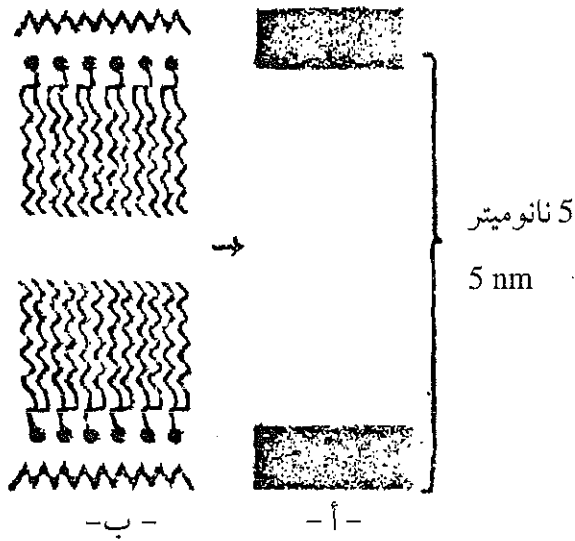
الصور الناتجة عن المجهر الإلكتروني فضلاً عن بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية. فمثلاً لوحظ أن المواد التي تذوب في الشحوم تنفذ بسهولة من خلال الغشاء البلازمي ولهذا استنتج بأن الشحوم تشترك في تركيبه، وبما أن المواد القابلة للذوبان في الماء لا تذوب في الشحوم وتتمر بسهولة عبر الغشاء، لذا افترض وجود ثقب صغير في هذا الغشاء تسمح بنفاذ المواد ذات الجزيئات الصغيرة كالتي تذوب في الماء. كما وجد أيضاً بأن الأيونات المشحونة كهربائياً تنفذ من خلال الغشاء وأنه سهل الابتلال (توتره السطحي ضعيف) لذلك اقترح وجود طبقات من البروتين تحمل مجاميع كيميائية مختلفة على سطح الغشاء، وهكذا افترضت عدة أنماط توضح تركيب الغشاء البلازمي منها: نمط ثنائي الطبقة الدهنية لكورتر وكريندل Gorter & Grendels Bimolecular Lipid-film Model عام 1890 (شكل 6-1)، ونمط ثنائي الطبقة لدانيالي ودافسن Canielli & Davson Bilayer Model عام 1935 (شكل 6-2)، ونمط وحدة الغشاء لروبرتسن Roberston Unit Mebrane Model عام 1957 (شكل 6-3)، والنمط المزوق لكرين وكابيلدي Green & Capalidi Mosaic Model عام 1967 (شكل 6-4)، وأخيراً النمط المزوق السائل لسنجر ونيكلسن Singer & Nicolson Fluid Mosaic Model عام 1972 (شكل 6-5) والذي يعتبر أفضل نموذج مقترح في الوقت الحاضر.



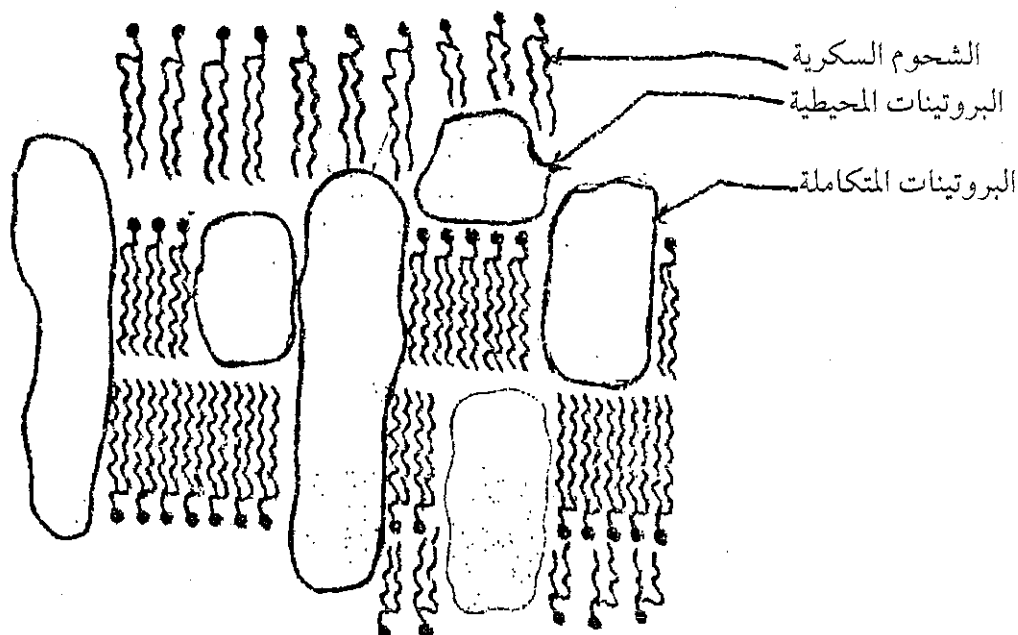
(شكل 6-1) النمط ثنائي الطبقة الدهنية



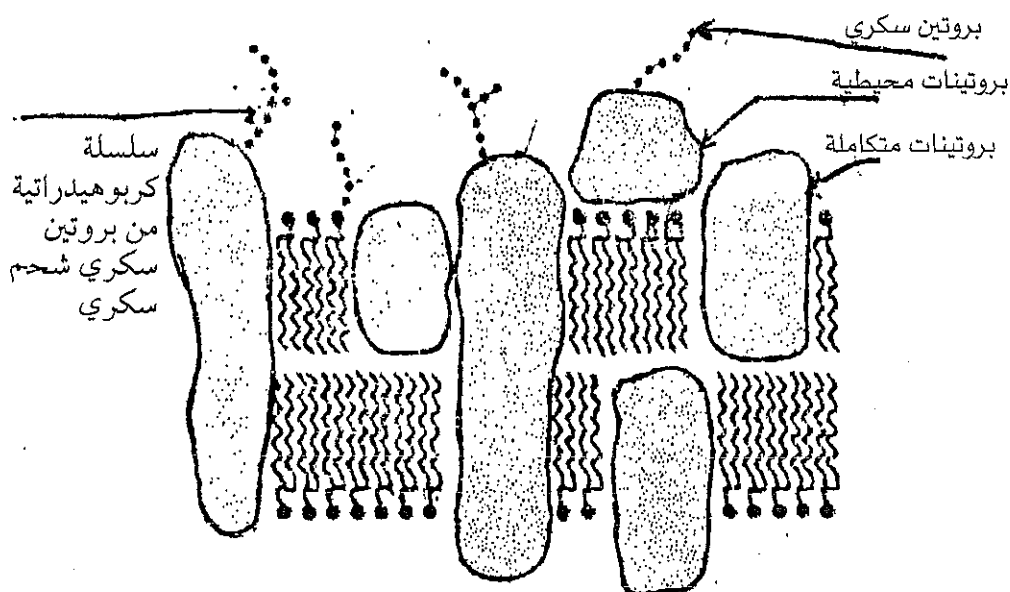
(شكل 6-2) نمط الطبقة الثنائية



(شكل 6-3) نمط وحدة الغشاء - 1 - طبقة من الشحوم المفسفرة بين طبقتين من البروتين



(شكل 4-6) النمط المزوق



(شكل 5-6) النمط المزوق السائل

النمط المزوق السائل: The Fluid Mosaic Model

اقترح هذا النمط عام 1972 سنجر S.J.Singer ونيكلسن Garth Nicolson إذ تشكل الطبقة الشحمية ذات الجزيئات الثنائية بناءً مترابطاً ومستمراً للغشاء، أما البروتينات فهي على نوعين، إما أن تكون مطمورة داخل هذا البناء بشكل رقع فيما بين الشحوم تسمى البروتينات التكاملية (integral Proteins)، أو تكون ملتصقة فوق الطبقة الشحمية الثنائية وتسمى البروتينات المحيطية (Proteins Peripheral)، ويتداخل كلا النوعين من البروتينات (التكاملية والمحيطية) مع بعضها البعض وكذلك مع الدهون، ولكنها تبقى محتفظة بقدرتها على الحركة الجانبية كما في شكل (5-6). ويكون شكل وتركيب الغشاء غير ثابت ويتغير حسب الظروف المحيطة به، فمثلاً عندما تكون درجات الحرارة اعتيادية تكون جزيئات الشحوم مرتبطة على شكل عمودي على سطح الغشاء، وعندما ترتفع درجات الحرارة إلى مرحلة التحول (Transition Phase) تتكسر بعض الأواصر الضعيفة بين أطراف الجزيئات الشحمية غير القطبية (hydrophobic)، عندها تصبح جزيئات الشحوم غير مرتبة جيداً (مانعة) فيقل سمك الغشاء وتزداد مساحته.

وتعد تفاعلات بروتين-بروتين، شحوم - بروتين، شحوم - دهون المسؤولة عن تركيب الغشاء وحركته في هذا النموذج كما يعد كلا النوعين من التفاعلات غير التساهمية (المحبة للماء والكارهة له) هي السائدة.

وقد فسرت حالة الثبات في تركيب الغشاء على أساس حالة النشاط الحر (الطاقة الحرة) للجزيئات التي يجب أن تكون في أدنى حد ممكن، وتحصل هذه الحالة عندما تكون التفاعلات المحبة للماء والكارهة له في أقصى درجة ممكنة (وهذا مرتبط بالظروف البيئية المحيطة بالخلية). وهذا يحدث عندما تكون المنطقة الداخلية والخارجية من الخلية في بيئة مائية تكون فيها المجاميع الأيونية والقطبية لجزيئات الشحوم المفسرة وبقايا البروتينات والكربوهيدرات في تماس مباشر مع الماء، وفي الوقت نفسه تكون الأطراف غير القطبية لجزيئات الشحوم وبقايا البروتينات محمية بعيداً عن الماء أطول مدة ممكنة.

التركيب الدقيق للغشاء البلازمي

The Fine Structure of Plasma Membrane

لا يحتوي السطح الخارجي والسطح الداخلي للغشاء على نفس الأنواع من البروتينات أو الشحوم، فيحوي السطح الخارجي لغشاء كرية الدم الحمراء أقل بكثير من البروتينات مما يحويه السطح الداخلي كما يحوي غشاء الكرية الخارجي 20% من النخاعين الإسفنجي مقارنة بـ 6% في غشاء الكرية الداخلي.

لا تبقى البروتينات ثابتة في مكانها في الغشاء، وإنما تتحرك حركات جانبية - خلال الطبقة الشحمية - بصورة مستمرة مما يؤثر على توزيعها خلال الغشاء، إذ يعتمد توزيعها على موقع الخلية وصلتها بالخلايا المجاورة ووظيفتها وكمية ATP الموجود فيها، ويعتقد بعض الباحثين بوجود اتصال ما بين بروتينات الغشاء والهيكل الساييتوبلازمي للخلية.

تتحرك الجزيئات الشحمية المكونة للغشاء حركات جانبية وحركات رجراجية (ارتفاعية انخفاضية) بسرعة تفوق سرعة جزيئات البروتين، وإن اختلفت سرعتها باختلاف موقعها، فتتحرك الجزيئات الشحمية المتصلة ببعضها أسرع من حركة الجزيئات الشحمية المرتبطة بالبروتينات والمسماة «الشحوم الحدودية Boundary Lipids»، وتزداد سرعة الجزيئات التي تزيد من مرونة الغشاء بازدياد عدد الحوامض الشحمية غير المشبعة فيه وكذلك بزيادة درجة الحرارة. ويوجد من الدلائل ما يشير إلى استطاعة الخلية زيادة عدد الحوامض الشحمية المشبعة فيها عند ارتفاع درجة الحرارة للمحافظة على إبقاء الغشاء ضمن حد معين من المرونة.

تتصل الكريوهدرات بالبروتينات والشحوم المتواجدة ضمن السطح الخارجي، ولا توجد دلائل قوية على وجودها ضمن السطح الداخلي للغشاء، ويبدو أنها تلعب دوراً في خفض الترتيب البروتيني الشحمي للغشاء.

تحورات وتخصصات الغشاء البلازمي

أ- نحورات السطح القمي العلوي البلازمي

لا يكون السطح القمي للغشاء مستوياً دائماً بل تتحور بعض الأجزاء منه وفي بعض

المواقع مكونة تموجات أو بروزات صغرى أو كبرى، معظمها يكون وقتياً وغير دائمى ويعكس حالة النشاط الكبير للغشاء، إلا أن بعضها دائمى فهي رغم كونها تحويلات وظيفية إلا أنها لا تغير ميزاتها الشكلية الرئيسية في أثناء نشاط الخلية الفردي، وهذه التحويلات الثابتة تسمى الزغيبات الدقيقة microvilli وهي بروزات شبيهة بالأصابع من السطح القمي (العلوي) للغشاء البلازمي داخل الساييتوبلازم الخاص بالخلية لبعض الأنسجة.

وهذه الزغيبات تكون متبانية في الشكل والحجم والعدد، وبشكل عام فإنها تكون منتظمة عندما تكون بأعداد كبيرة، كما هو الحال في الحافة المخططة (Straited border) للنسيج الطلائى المعوي، فتصبح ثابتة الحجم ومتقاربة مع بعضها مكونة تركيباً ثابتاً متصلاً، وكذلك الحال في الحاشية الفرشائية (brush border) للانبوب الدقيق اللتوي الاقرب للكلية، إذ تتكون من سلسلة امتدادات غشائية متقاربة ومرتبطة في نموذج سداسي الشكل ثابت. وفائدة هذه التحويلات هي زيادة المساحة السطحية الماصة للغشاء البلازمي ثم زيادة نفوذ المواد (الامتصاص والإبراز) من الخلية وإليها، أما فائدة الفسح بين هذه البروزات فإن عملها يشبه عمل المصفاة (المنخل). كما توجد في هذه المنطقة أيضاً الأهداب التي لها تركيب داخلي خاص ومعقد سيناقش فيما بعد.

ب- تحورات السطوح المتلامسة لأغشية الخلايا المتجاورة

تتصل الخلايا المجاورة مع بعضها البعض بطرق مختلفة، أهمها:

- (1) التمفصلات الاتصالية.
- (2) التمفصلات المحكمة.
- (3) التمفصلات اللاصقة.
- (4) القنوات الساييتوبلازمية.

يمكن ملاحظة الاتصالات الثلاث الأولى في الكثير من الخلايا الحيوانية والنباتية، أما النوع الرابع فيقتصر على بعض الخلايا النباتية:

1- التمفصلات الاتصالية: Communicating Junctions

عملها نقل المواد والإشارات بين الخلايا، وبالتالي تنظيم وتنسيق فعاليتها المختلفة، وأهمها:

أ- التمفصلات الفجوية Gap Junctions

هي تراكيب أنبوبية تربط بين أغشية الخلايا المتجاورة غير المتلامسة، وتمتد من السطح الساييتوبلازمي لغشاء بلازمي إلى السطح الساييتوبلازمي للغشاء البلازمي للخلية المجاورة. ويتكون كل أنبوب من ست وحدات ثانوية بروتينية قضيبية الشكل، وتشاهد في الغشاء البلازمي الجانبي لخلايا الأنسجة الطلائية للكبد والعضلات الملساء والقلبية وفي بعض اللافقريات كما في المحار وبرغوث الماء.

ب- التمفصلات الحاجزية : Septate Junctions

تكون بشكل حواجز مستعرضة فيها بروزات تصل الأغشية البلازمية مع بعضها البعض فيها وتوجد في بعض اللافقريات كالهيدرا.

2- التمفصلات غير النافذة (المحكمة) Impermeable Junctions

عملها عزل تجويف الخلية عن المحيط الخارجي والخلايا المجاورة لها، وأهمها، التمفصلات المحكمة (Tight Junction) وتسمى أيضاً النطيفة المغلقة (Zonula Occludens) وتبدأ عند نقطة اتصال حدود الخليتين القمية والجانبية مكونة اتصالاً مستمراً يشبه الحزام يمتد حول الخلية تماماً. وهي تتميز باندماج (اتحاد) الغشائين البلازميين المتجاورين، مما يؤدي إلى اختفاء المنطقة بين الخلوية وتكوين حاجز يمنع الانتشار والنفوذية معاً (شكل 6-6)

3- التمفصلات اللاصقة Adhering Junctions:

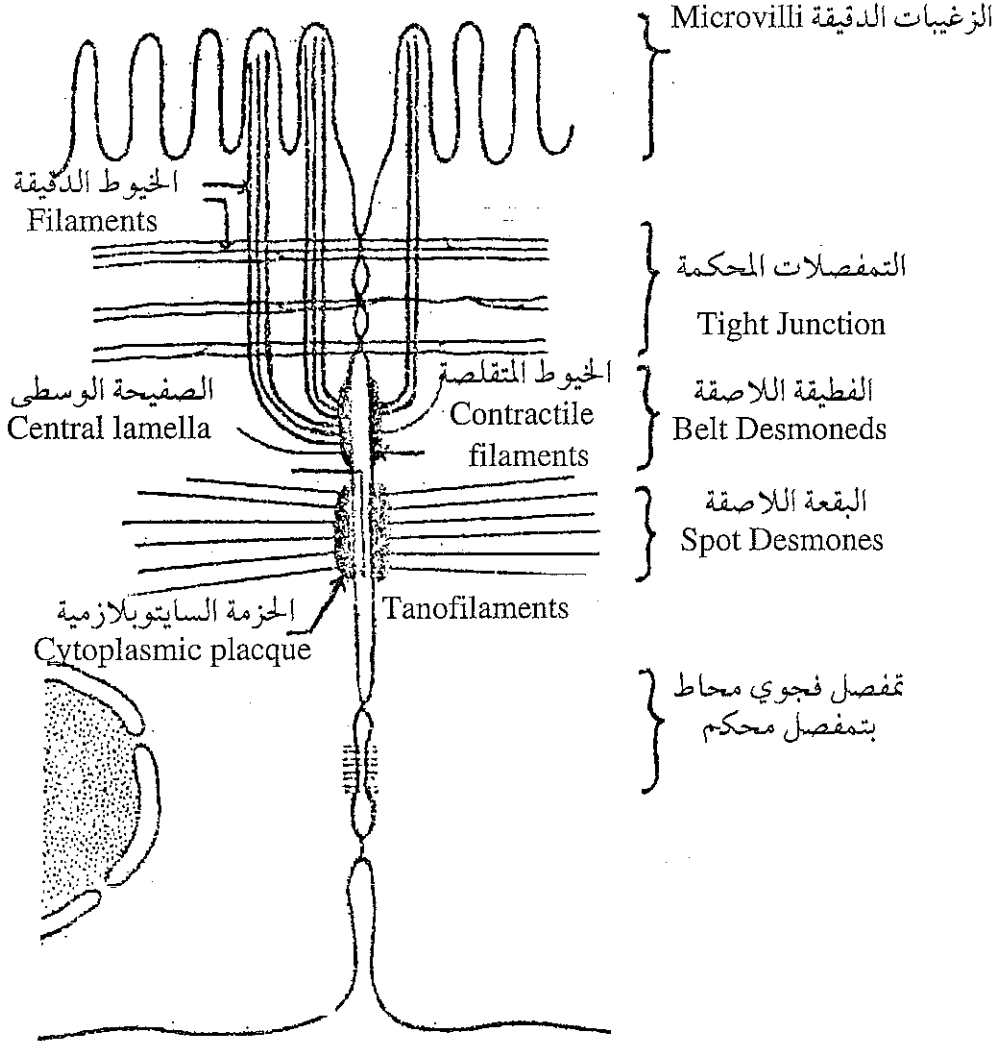
وتسمى أيضاً (Desmosomes) وعملها المساعدة في عملية الالتصاق أو الالتحام بين الخلايا، وتمكينها من العمل مع بعضها البعض كوحدة تركيبية مترابطة منسجمة. وتتكون هذه الاتصالات من جزئين أساسيين هما:

أ- النطيفة اللاصقة (Zonula adherens): وتسمى أيضاً الحزام اللاصق (Belt desmosomes) أو الاتصالات المتوسطة Intermediae المتكون من تشخن في الغشاء البلازمي تمتد منه ليفيات ذات قطر يبلغ 7 نانوميتر وتحوي على الأكتين، actin، وبروتين قابل للانقباض. وتقع هذه المنطقة أسفل النطيفة المغلقة في النسيج الطلائي وتحيط بالخلية.

ب- البقعة اللاصقة Macula Adherens: وتسمى أيضاً Spot Desmosomes، حيث

تبدو كبقعة دائرية أو بيضوية في غشاء الخلية تقابلها تماماً وتوازئها بقعة أخرى تمثل البقعة اللاصقة للخلية المجاورة. وتمثل المنطقة البيئية المسافة بين الخليتين المتجاورتين التي يكون عرضها نحو «30 نانوميتر 30nm» وتكون مملوءة بمادة خيطية رقيقة.

تتألف البقعة اللاصقة من ليفيات قطرها نحو 20 نانوميتر 20nm» وتعمل على مساعدة الحزام اللاصق في عملية اللصق من خلال زيادة شد أو توتر الغشاء (شكل 6-6).



(شكل 6-6) تحورات الغشاء البلازمي

4- القنوات الساييتوبلازمية (البلاسمودسمات Plasmodesmata) التي هي قنوات ضيقة متعددة تنشأ من امتدادات خارجية للأغشية البلازمية المتجاورة النباتية، ويتم عن طريقها تبادل مباشر للمواد بين الخلايا المتجاورة، وتكون أوسع بكثير من قنوات الاتصالات الممرية.

الكأس السكري Glycocaly

يمكن عد الكأس السكري أحد تحورات الغشاء البلازمي لأنه يمثل طبقة خارجية تتصل كلياً أو جزئياً بالغشاء البلازمي في بعض المناطق (كما في الزغيبات الدقيقة microvilli)، ويعتقد أنها جزء من الغشاء البلازمي، وهذا ما تؤكده وجهة النظر الوظيفية، وتكون ذات تنوع واسع في الخصائص الشكلية والتركيبية، فقد تكون رقيقة للغاية كما في كريات الدم الحمراء أو معتدلة السمك أو سميكة جداً نسبياً، وقد تكون مرنة في خلايا معينة أو صلبة متينة في خلايا أخرى كالأنسجة الرابطة عموماً، كما في الغضروف والعظم، ويحتوي الكأس السكري على أغلب الكربوهيدرات الموجودة في الغشاء البلازمي على شكل سكريات متعددة مرتبطة بالبروتينات السكرية والدهون السكرية.

والكأس السكري يشكل طبقة مستمرة، أو غير مستمرة ذات شرفات (بروزات) أو خيوط قصيرة أو طويلة تدعى الكؤوس السكرية الواحية (attenuate glycocalys) كما في طلائي الأمعاء أو في الأميبا. ويمكن تقسيمه إلى كأس متصل أو كأس منفصل، فالكأس السكري المتصل يرتبط بإحكام بالغشاء البلازمي ويتصف بصفاته العامة وشكله في أثناء التغيرات الوظيفية مثل الشرب الخلوي، ويوجد هذا النوع في أغلب الابتدائيات وفي الزغيبات الدقيقة (microvilli) للسطح الملتهم في كثير من الخلايا. أما الكأس السكري المنفصل فهو عكس ذلك لا يتحرك في أثناء التغيرات الوظيفية في شكل الغشاء الذي تحته، ويوجد في عضل الفقرات، وفي الخلايا الطلائية للعشيرات الدموية، وفي الصفيحة القاعدية لأغلب الأنسجة الطلائية.

وبصورة عامة فإن الغشاء البلازمي يكون متبايناً في السمك في خلايا معظم الكائنات الحية، وهذا التباين في السمك يوجد أيضاً ضمن الغشاء الواحد نفسه، ويوصف الغشاء بأنه غير متناظر (Asymmetrical). ويعتقد بأن سبب هذا التباين

يعود إلى اختلاف نسب البروتينات المختلفة في الغشاء، إذ يكون الغشاء سميكاً عندما تكون البروتينات المحيطة أو الخارجية (peripheral) بكميات أكبر، بينما يكون الغشاء رقيقاً عندما تسود البروتينات التكاملية أو الداخلية (integral). وقد يكون للكأس السكري دور في هذا المجال وفي المناطق التي فيها يزداد السمك.

ج- تحورات قاعدة الخلية

يُغطى غشاء البلازما لقاعدة بعض الخلايا بغشاء كثيف قاعدي يدعى «الصفحة القاعدية Basal Lamina» مكون من مواد خلوية خارجية Extracellular Materials.

طرق انتقال المواد عبر الغشاء البلازمي

تنتقل المواد خلال الغشاء البلازمي بطريقة التنافذ الاختباري (Selective Permeability) وعند تعرض الغشاء للتلغ نتيجة موت الخلايا أو تمزقها. وتنتقل جزيئات المواد بحرية خلاله حتى تصل إلى حالة التوازن Equilibrium وهذه نادرة الحدوث في الخلايا الحية، لأن الحالة الحركية لأغشيتها الحية تجعلها تنظم حركة دخول وخروج المواد التي تنتقل بصورة عامة بثلاث طرق رئيسة هي:

1- الانتشار الحر: Free diffusion.

2- النقل بالمساعدة Assisted Transport.

أ- الانتشار السهل (النقل غير الفعال): (Facilitated diffusion) Passive transport.

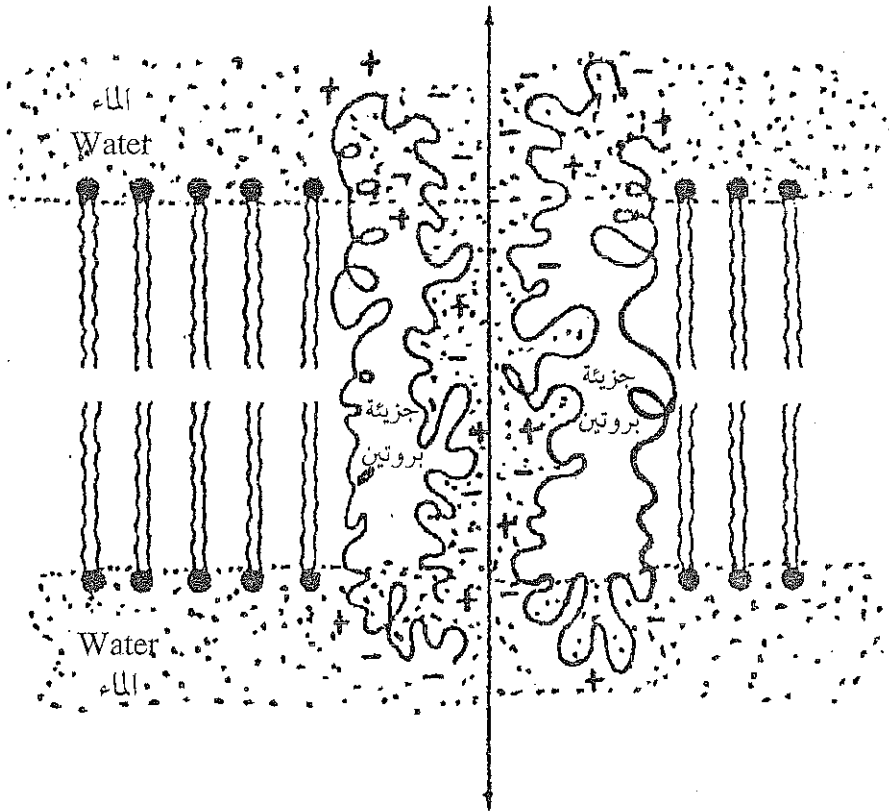
ب- النقل الفعال: Active transport.

3- النقل بالحوصلات الغشائية: Cytosis.

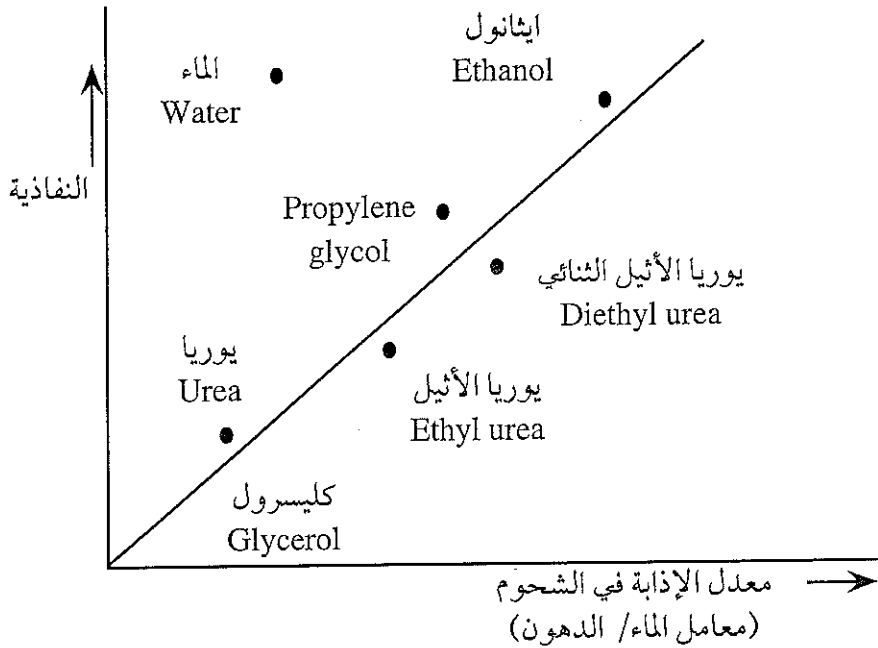
1- طريقة الانتشار الحر

تنتقل جزيئات المواد الذائبة في الدهون بهذه الطريقة حسب تدرج التركيز، أي من المنطقة ذات التركيز العالي بالمادة إلى المنطقة ذات التركيز الواطئ شكل (6-7)، وتتناسب سرعة مرور المواد مع سرعة ذوبانها في الشحوم كما يلاحظ في الشكل البياني (6-8). أما الماء فيستثنى من هذه القاعدة إذ أن جزيئاته تمر عبر ثقب موجودة في الغشاء، قطر الثقب الواحد نحو نانوميتر واحد (1nm) يكون مبطناً ببعض البروتينات

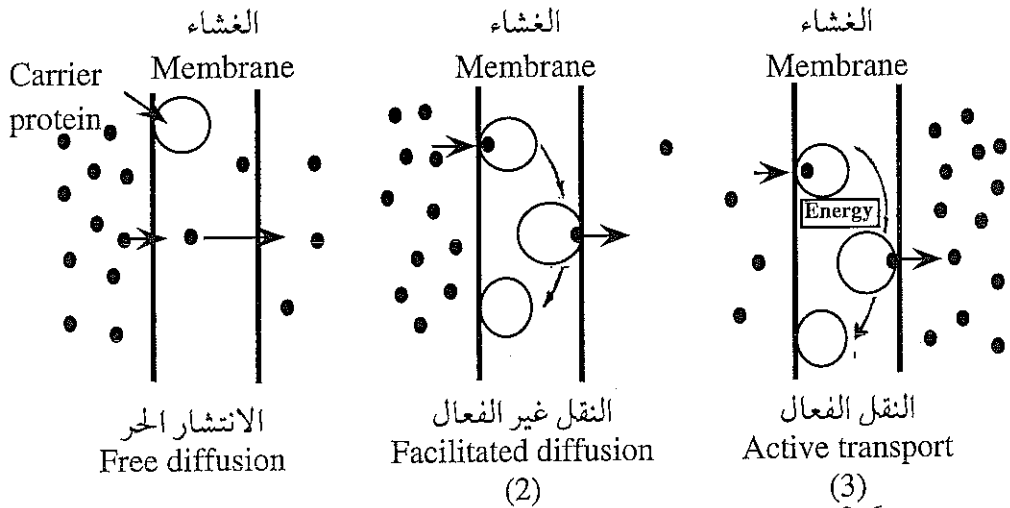
ذات الجزيئات المحبة للماء (hydrophil) وكما موضح في الشكل (6-9)، كما أن سعة الثقوب تسمح بمرور الماء وبعض المواد ذات الجزيئات الصغيرة القابلة للذوبان فيه (بينما يصعب مرور المواد ذات الجزيئات الكبيرة). وينتقل الماء من المنطقة المخففة إلى المنطقة المركزة أي حسب تدرج التركيز (من المنطقة ذات التركيز العالي بالماء إلى المنطقة ذات التركيز القليل).



شكل (6-7) مخطط يوضح عملية اختراق الثقوب الضيقة للغشاء مما يسمح بانتشار سريع لجزيئات الماء خلال تفاعلاتها مع بروتينات الغشاء



شكل (6-8) خط بياني يوضح الانتشار الحر للكيمياويات خلال نظام ماء دهون، حيث يزداد الانتشار بصورة طردية مع سرعة الإذابة في الدهون، علماً أن الماء مستثنى من القاعدة.



شكل (6-9) ثلاثة أنواع من الحركة عبر الغشاء البلازمي

- 1- الانتشار الحر لا يحتاج إلى حامل.
- 2- النقل غير الفعال الذي يحتاج إلى حامل.
- 3- النقل الفعال الذي يحتاج إلى حامل فضلاً عن استهلاك طاقة.

2- طرق النقل بالمساعدة Assisted transport

أ- طريقة النقل غير الفعال أو السلبي (الانتشار البسيط)

تنتقل بهذه الطريقة المواد غير القابلة للذوبان في الدهون والتي تحتاجها الخلايا، مثل السكريات والأحماض الأمينية، وحسب تدرج التركيز. وتشتمل عملية النقل على اتحاد عكسي للمادة الأيضية مع بعض البروتينات الداخلية (التكاملية) للغشاء والتي تسمى الحوامل (Carriers)، وهذه الحوامل ذات تخصص عال، حيث يمتلك كل حامل خواص جزء رابط له الميل للارتباط بنوع خاص واحد من الجزيئات ولا يرتبط مع أي نوع آخر، ويكون الارتباط مؤقتاً إذ يتحرر الحامل بعد نقله الجزيئة إلى الجانب الآخر من الغشاء ليعود مرة أخرى لنقل جزيئة أخرى بصورة دورية ومن المادة نفسها وكما موضح في الشكل (6-9).

وتستمر عملية النقل بطرق الانتشار ما دام أحد طرفي منحدر التركيز منخفضاً عن الآخر، ويحصل ذلك باستمرار نتيجة لاستغلال تلك المواد في عمليات البناء الحيوي داخل الخلايا، فمثلاً يحصل انخفاض في تركيز السكريات داخل الخلايا نتيجة لازدواج عملية الانتشار البسيط للسكر مع عمليات الفسفرة في داخل الخلايا (كما في البكتريا)، فإذا مرت السكريات الداخلة للخلية مباشرة في عملية الفسفرة، أدى ذلك إلى انخفاض في تركيز السكريات غير المفسفرة في داخل الخلية، مما يؤدي إلى انتقال السكريات من خارج الخلية (تركيز عالي) إلى داخلها حسب تدرج التركيز، كذلك فإن تجمع أيونات Ca^{+2} في أوعية (Cisternae) الشبكة الأندوبلازمية للعضلة يحدث نتيجة لترسيب أيونات الكالسيوم Ca^{+2} حالاً من المحلول على شكل فوسفات الكالسيوم، مما يجعل تركيزها منخفضاً في داخل الخلية فتنتقل الأيونات إلى داخل الخلية حسب تدرج التركيز، كما تنتقل فضلات الخلايا بنفس الطريقة السابقة حيث تتحرك الفضلات من داخل الخلايا إلى خارجها نتيجة لإزالة الفضلات من خارج الخلية بأية طريقة، مما يخفض من تركيزها في الخارج.

ب- طريقة النقل الفعال:

يعد النقل الفعال عملية مزدوجة تشتمل على نقل المادة الأيضية إلى داخل الخلية بمساعدة الحوامل البروتينية (Carriers)، ومرور الفضلات فضلاً عن حركة الأيونات

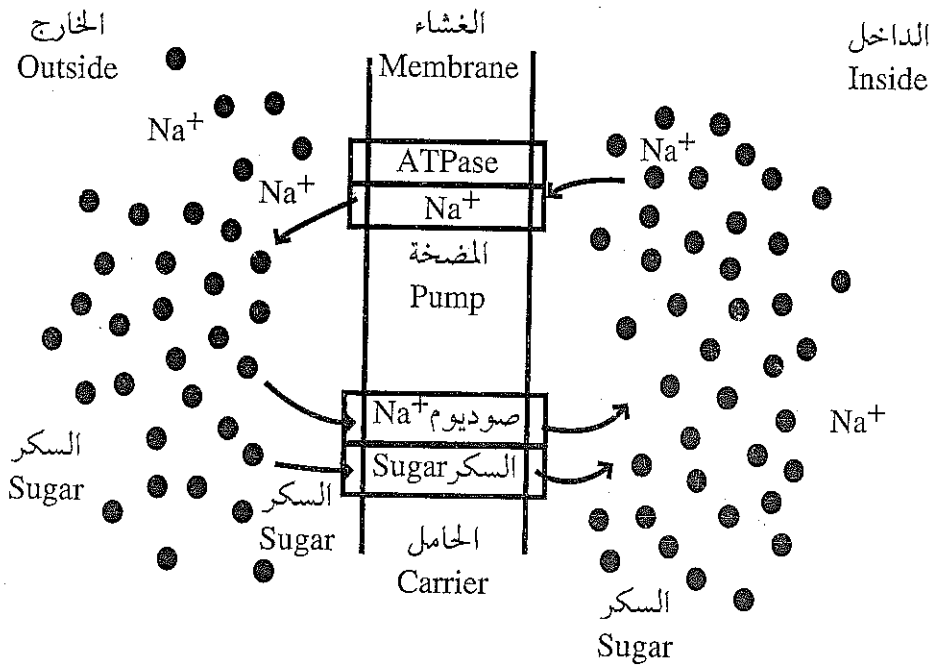
(مثل Na^+ و Ca^{2+} و K^+ و H^+ ... الخ) إلى خارج الخلية بمساعدة مضخة الأيون. وتتم العمليتان (دخول المادة الأيضية وخروج الأيون) معاً في وقت واحد وعكس تدرج التركيز، أي من المنطقة ذات التركيز الواطئ بالمادة أو الأيون إلى المنطقة ذات التركيز العالي، ويتطلب ذلك توفر طاقة تستهلك لأجل إنجاز عملية النقل عكس تدرج التركيز، انظر شكل (6 - 9)، وأن مصدر هذه الطاقة هو تحلل الـ ATP، حيث وجد في حالات عديدة أن الانزيم ATPase المنشط بأيونات Mg^{+2} والموجودة داخل الغشاء هو الذي يساعد في تحلل الـ ATP ويجهز الطاقة اللازمة لهذه العملية.

وقد تم تمييز نوعين من مضخات الصوديوم الموجودة في خلايا الحيوان وكما هو موضح في الشكل (6 - 10)، الأولى تسمى مضخة التبادل المزدوجة (Coupled neutral pump) أو مضخة تبادل البوتاسيوم/ الصوديوم، وفيها يكون ضخ أيونات الصوديوم (Na^+) إلى الخارج مساوياً دائماً لضخ أيونات البوتاسيوم (K^+) إلى الداخل، وهذه المضخة تميز الخلية العصبية والعضلية بشكل خاص. أما النوع الثاني فتسمى مضخة الصوديوم المولدة للكهرباء (Electrogenic Sodium Pump)، وفيها لا يتساوى الضخ الخارجي لأيونات Na^+ مع الضخ الداخلي لأيونات K كنسبة (1:1)، وهذه المضخة واسعة الانتشار في كثير من الخلايا الحية، ورغم اختلاف الأيونات في أنواع المضخات إلا أن عملها متشابه وأن هذه الأنواع من المضخات لم تعرف في خلايا النبات والبكتريا إذ ليس بها حاجة إلى أيونات Na^+ في عمليات البناء الحيوي لخلاياها.

كما أن الخلايا الهوائية بشكل خاص بها حاجة إلى أيونات البوتاسيوم (K) وبتراكيز كبيرة بغض النظر عن التراكيز الخارجية لأيونات الصوديوم أو البوتاسيوم.

وهناك عمليتان حيويتان تتطلبان تراكيز عالية من أيونات البوتاسيوم هما عملية بناء البروتين في الرايبوسومات، وخطوة واحدة في عملية تحلل (تحطم) الكلوكوز (glycolytic breakdown of glucose).

وأن الزيادة في التركيز الداخلي لأيونات البوتاسيوم قد يوازنه فقدان في بعض الأيونات الموجبة كالـ Na^+ أو H^+ أو قد يسبب ارتفاعاً في الضغط الأوزموزي الداخلي مسبباً انتفاخاً مفرطاً وتفجراً في الخلية.



شكل (6 - 10) مضخة الصوديوم المولدة الكهربائية وتشاهد فيها جزيئات السكر والصوديوم المتناثرة فيها.

نظام البرميزز : Permeases

وتطلق هذه التسمية (permeases) على بعض الحوامل البروتينية التي يشابه عملها عمل الأنزيمات في الكثير من الخواص، أهمها: التعجيل من عملية النقل الاختيارية في نقل المادة الخاصة، وعودتها إلى وضعها الأصلي غير متغيرة في نهاية عملية النقل. إلا أنها تختلف عن الأنزيمات في أحد أهم الخواص، إذ أنها قد تغير نقطة التوازن (Equilibrium Point) الخاصة بالتفاعل الكيميائي وبدرجة كبيرة أحياناً، بينما تعمل الأنزيمات على تغيير معدل السرعة التي عندها يصل التوازن ولا تغير نقطة التوازن نفسها. والحوامل Carriers بشكل عام تقوم بالمساعدة على نقل المواد الأيضية أو الفضلات، إما حسب تدرج التركيز كما هو الحال في طريقة الانتشار البسيط (النقل غير الفعال أو السلبي)، أو عكس تدرج التركيز كما في طريقة النقل الفعال (Active transport).

آلية عمل الحوامل البروتينية خلال الغشاء البلازمي

من الواضح بأن الحوامل (Carriers) تعمل للمساعدة في نقل جزيئات المواد القطبية (hydrophilic) عبر الغشاء البلازمي ذي السمك 10-6 nm تقريباً، ولا بد من معرفة كيفية انتقال تلك الجزيئات عبر هذه المسافة الكبيرة نسبياً بالحوامل. وافترض آلتيان لتوضيح هذه العلمية هما:

1 - آلية الحامل المتحرك Mobile Carrier Mechanism.

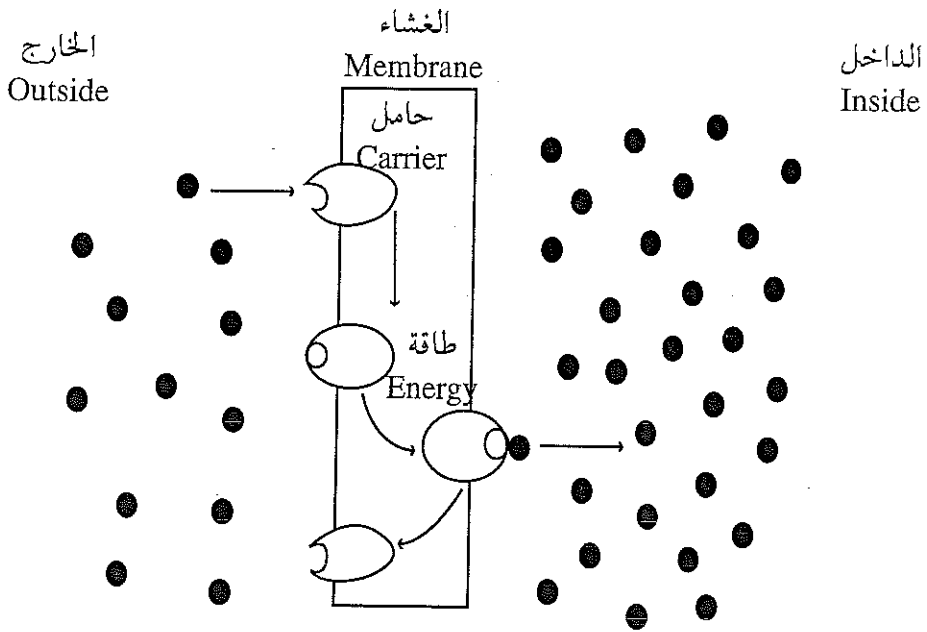
2- آلية الثقب الثابت Fixed Pore Mechanism.

1- آلية الحامل المتحرك

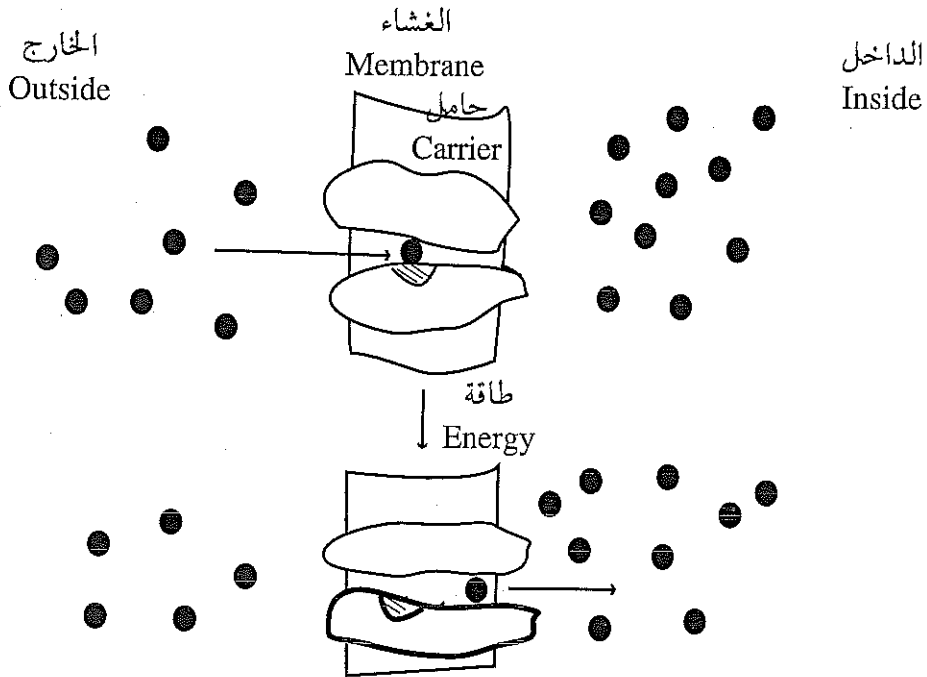
هذه الفرضية تعتقد بأن الحامل (Carrier) يرتبط مع الجزيئة القطبية للمادة المراد نقلها (أو مع الأيون) ارتباطاً مؤقتاً مكوناً معقداً يتحرك بكامله خلال سمك الغشاء حتى يصل الجانب الآخر عندها تتحرر الجزيئة أو الأيون من معقد الربط، تاركة الحامل بحريته ليعود مرة أخرى لجلب جزيئة أخرى وهكذا بصورة دورية. ويحتاج الحامل في هذه الفرضية إلى طاقة عالية يستهلكها في الذهاب والإياب. ويوضح الشكل (6-11) عملية النقل الفعال للمواد بطريقة الحامل المتحرك.

2- آلية الثقب الثابت:

تقترح هذه الفرضية أن الحامل البروتيني (Carrier) يثبت في مكانه داخل الغشاء، ويمتلك موقعاً ثابتاً يرتبط به مع جزيئة المادة المراد نقلها، وله القدرة على تغيير هيأته (شكله) فوق الرابطة (مع جزيئة المادة أو الأيون). وعند حصول التغيير في شكل الحامل تندفع الجزيئة (أو الأيون) المرتبطة مرة واحدة إلى الجانب الآخر من الغشاء ليتحرر الحامل منها ويعود مباشرة إلى هيأته الأصلية قبل عملية النقل ليكون جاهزاً لنقل جزيئة أخرى وبصورة دورية. ويحتاج الحامل في هذه الفرضية إلى طاقة أقل يستهلكها في تغيير شكله فقط، كما أن هذه الفرضية توفر علاقة أقوى بين تركيب الغشاء ووظيفته وتدعم الحقائق المؤيدة لهذه الفرضية ويوضح الشكل (6-12) عملية النقل الفعال للمواد بطريقة الثقب الثابت.



شكل (11-6) : آلية الثقب المتحرك



شكل (12-6) : آلية الثقب الثابت

3- طريقة النقل بالحويصلات الغشائية

في هذه الطريقة تنتقل بعض المواد في بعض الخلايا عبر الغشاء البلازمي بالحويصلات الغشائية، التي تمثل أكياساً أو فقاعات غشائية تتكون في مواقع معينة من الغشاء البلازمي نفسه وتلتف أو تحيط بالمادة المراد نقلها ثم تتحرك من الخلية أو إليها، فإذا نقلت المواد الأيضية من الخارج إلى داخل الخلية سميت العملية بـ الإدخال الخلوي (Endocytosis) أما إذا نقلت النواتج الأيضية من داخل الخلية إلى خارجها سميت العملية بـ الإخراج الخلوي (Exocytosis) والعمليتان تحتاجان إلى طاقة تستهلك لأجل إنجاز عملية النقل عكس تدرج التركيز، فإذا تمكنت السموم الأيضية من إيقاف عملية إنتاج الطاقة اللازمة، توقفت عملية الإدخال الخلوي. وبالإمكان تحفيز العمليتين بإضافة طاقة على شكل ATP إلى الخلايا، كما يمكن تثبيط العمليتين وذلك بمنع تحرر الطاقة اللازمة لذلك.

مراجع الفصل السادس

- Bennett, V., J. Cell Biochem., 18 (1982) 49.
- Bennett, V., Sci. Amer., 253 (1985) 100.
- Branton, D. et al, Cell, 24 (1981) 24.
- Bretscher, M.S. and Pearse, B.M.F., Cell, 38 (1984) 3.
- Brown, M. S. and Goldstein, J.L., Sci. Amer., 251 (1984) 598.
- Cohen, C.M., and Branton, D., Trends Biochem. Sci., 6 (1981) 266.
- da Silva, P.P. and Kachar, B., Cell, 28 (1982) 441.
- Davis, B.D. and Tai, P.C., Nature, 283 (1980) 433.
- Evan, W.H., and Flint, N., Biochem. J., 232 (1985) 25.
- Jacobs, S. and Cautrecasas, P., Trends Biochem. Sci., 2 (1977) 280.
- Knight, C.G., Eur. J. Cell. Biol., 20 (1982) 160.
- Malerhofer, G., Amer. Sci., 17 (1985) 10.
- Marx, J.L., Science, 207 (1980) 164.
- Pastan, I.H. and Willingham. M.C., Science, 214 (1981) 504.
- Paul, S.M. and Skolnick, P., Science, 202 (1979) 894.
- Roberston, J.D., J. Cell Biol., 91 (1981) 189.
- Rome, L.H., Trends. Biochem. Sci., 10 (1985) 23.
- Rothman, J.E. and lenard, J., Trends Biochem. Sci., 9 (1984) 176.
- Schatz, G., Trends Biochem. Sci., 10 (1985) 95.
- Scott, D.E. et al, Cell Biol., 86 (1980) 701.

- Smith, R.L. and Oldfield, E., Science, 225 (1984) 280.
- Storch, J. and Kleinfeld. A.M., Trends Biochem. SCi., 10 (1985) 418.
- Unwin, Nand Henderson, R., Sci. Amer., 250 (1984) 78.
- Walter, P. et al, Cell, 38 (1984) 5.
- Zampighi, G. et al, J. Cell Biol., 98 (1984) 785.
- John, S., The Cell, 1996, Cyandric Ltd., New York, USA.
- Samuel, S., Plasma Membrane, 1999, Cantz Press Ltd., Philadelphia, USA.
- Zachari, M., Transport in Membranes, 1997, Milos Ltd, Colorado, USA.
- Zachari, M., Plasma in Membranes, 1997, Milos Ltd, Colorado, USA.

الفصل السابع

جدار الخلية والفجوات

Cell Wall and Vacuoles

جدار الخلية

تركيب جدار الخلية

أهمية جدار الخلية

مكونات جدار الخلية

الفجوات

أنواع الفجوات

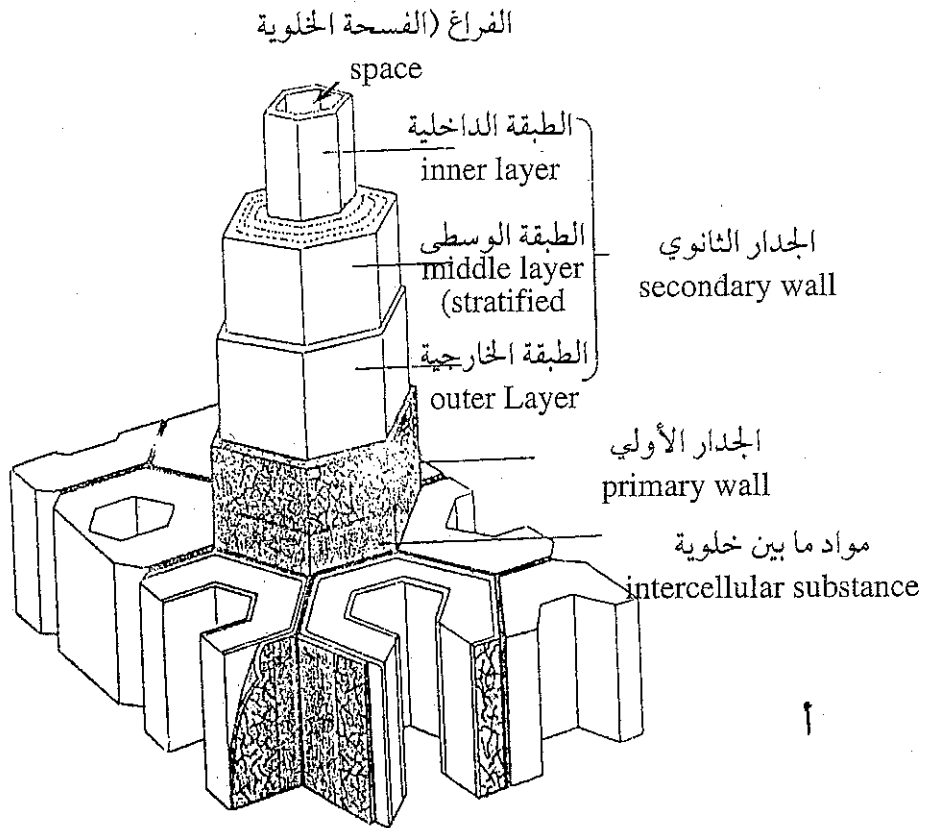
وظائف الفجوة العصارية

منشأ الفجوة العصارية وغشائها

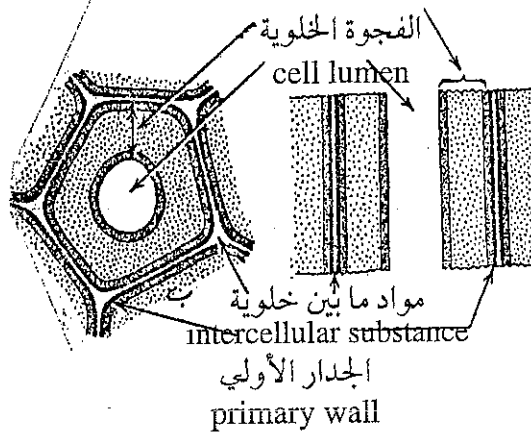
جدار الخلية والفجوات Cell Wall and Vacuoles

تركيب جدار الخلية Cell Wall:

هو الغلاف الصلب الذي يحيط بالغشاء البلازمي للخلية النباتية من الخارج، ويتراوح سمكه بين 1 - 3 مايكروميتر ويعتقد بأنه غير حي إلا أن فكرة وجود بعض البروتينات فيه (الجدار الأولي) أخذت تزداد أهمية خاصة بعد اكتشاف الحامضين الأمينيين الـ Proline والـ Hydroxproline وقد أطلق Lamport عام 1965 مصطلح (extension) على بروتين جدار الخلية، وافترض أنه يلعب دوراً تنظيمياً في نمو الخلية. ويتكون جدار الخلية في المراحل الأخيرة من انقسام النواة في عملية الانقسام الخيطي Mitosis إذ تتجمع حويصلات غشائية ناتجة من الشبكة الأندوبلازمية وأجسام كولجي وسط الخلية (في مركز المغزل) في نهاية الطور الانفصالي (Anaphase) وبداية الطور النهائي (Telophase)، مما يؤدي إلى تكون الفراكموبلاست Phragmoblast التي تتكون بداخلها الصفيحة الخلوية Cell plate والتي تبدو وكأنها مجموعة من الأنابيب الدقيقة المنفصلة داخل عناصر الشبكة الأندوبلازمية، وبعد ذلك يكبر حجمها وتتجدد لتفصل بين الخليتين الجديدتين تماماً، وبعدها تترسب مادة السليلوز على الأغشية الجديدة، ثم تمتلئ المسافة بين الخليتين الجديدتين نتيجة لتجميع (تشربها) مادة البكتات (الكالسيوم والمغنيسيوم) لتكوين ما يسمى بالصفيحة الوسطى (Middle Lamella). ويعقب تكون الصفيحة الوسطى إفراز الساييتوبلازم (عن طريق الفجوات الغشائية) بعض المواد التي تترسب على جانبي الصفيحة الوسطى مكوناً الجدار الأولي Primary Wall ويكون رقيقاً ومرناً ومؤلفاً من مادة السليلوز وأشباه (أنصاف) السليلوز (Hemicellulose) والبكتين وبعض المواد الأخرى. وفي بعض الخلايا (كالخلايا الباراكيمية) لا يوجد سوى الجدار الأولي فقط إذ يفرز الساييتوبلازم مواداً مثل السوبرين والكيونين تترسب عليه لمنع نفاذيته للماء (شكل 7 - 1).



جدار ثانوي مكون من ثلاث طبقات
three-layered secondary wall



شكل (1-7) : مخطط يبين التركيب المتعدد لجدار خلية نباتية ليفية (أ) ومقطع عرضي (ب) وآخر طولي (ج) لتركيب جدار خلية نباتية اعتيادية.

وفي خلايا أخرى يعقب تكون الجدار الأولي جدار آخر يسمى الجدار الثانوي (Secondary Wall) مؤلف من ثلاث طبقات، الوسطى منها سميكة، أما الطبقتان الخارجية والداخلية فتكونان رقيقتين. ويمكن ملاحظة أهم نقاط الاختلاف بين الجدار الأولي والثانوي في الجدول (1-7) الذي يقارن بين الجدارين.

جدول (1-7): مقارنة بين تركيب الجدار الأولي والجدار الثانوي

المادة	الجدار الأولي	الجدار الثانوي
1- السليلوز	نسبته واطئة نحو 10%	نسبته عالية نحو 50%
2- أشباه السليلوز والبكتين	نسبته عالية	نسبته واطئة
3- بلمرة الألياف	نسبته واطئة	نسبته عالية
Polymerization		
4- طول سلاسل السليلوز	نحو 0.5 مايكرومتر	نحو 1.5 مايكرومتر
5- نسيج الليفيات	الليفيات مبعثرة	الليفيات مرتبة بطبقات مع بعضها
Microfibril Texture		
6- المرونة Elasticity	عالية نسبياً	واطئة نسبياً.
7- نوعية النمو (أي مواد جديدة)	إضافة النمو في السطح	إضافة النمو في السطح
للجدار)	بعملية aposition أو بعملية التداخل intussusception	بعملية التراكم aposition

ويوضح التشريح الدقيق باستخدام المجهر الإلكتروني بأن جدار الخلية مكون من شبكات من السلاسل السليلوزية مؤلفة من الكثير من جزيئات السكر البسيط (الكلوكوز)، وهذه السلاسل السليلوزية ناتجة عن التحام جزيئات سليلوزية متبلورة (Crystalline) ومتوازية مع جزيئات سليلوزية غير متبلورة وغير متوازية (Amorphous) فتتحد (100) سلسلة من هذه السلاسل المؤلفة من جزيئات سليلوزية متبلورة وغير متبلورة لتكوين ما يسمى باللييفات الأولية Micelle و Elementary fibril، وتعد اللييفات الأولية أصغر وحدة في بناء جدار الخلية. ويتجمع نحو (250) ليفة يتم تكون

اللييفات الدقيقة Microfibril، وتتجمع نحو (250) لييفة دقيقة لتكوين اللييفات الكبيرة Macrofibril التي يمكن تمييزها بالمجهر الضوئي.

وربما تلعب أجسام كولجي دوراً مهماً في تكوين الصفيحة الخلوية إذ تقوم بتكوين حويصلات غشائية في الطور الانفصالي تتجه إلى وسط المغزل، وهذه الحويصلات هي مصدر السليلوز التي تكون الصفيحة الخلوية، وإن كانت العملية غير مفهومة تماماً.

وترجع مرونة الجدار الأولي إلى انخفاض نسبة السليلوز المتبلور وزيادة نسبة السليلوز غير المتبلور بينما يحصل العكس في حالة الجدار الثانوي، مما يتسبب في قلة مرونته، ولهذا يلاحظ أن السليلوز المتبلور يزداد بزيادة عمر الخلية حتى تصل نسبته إلى 90% في جدران بعض الألياف النباتية.

ولا بد من الإشارة إلى أن عملية تجمع اللييفات الدقيقة لتكوين اللييفات الكبيرة قد تترك فراغات بينية وحشوات Matrix بين اللييفات، وقد تترسب في هذه الفراغات مواد مختلفة تختلف حسب نوع الجدار والخلية والعمر، ففي الجدران الأولية تمتلئ الفراغات بالمركبات البكتينية، بمادة اللكتين والتانين Tannins، والشمع Wax، والكيوتين Cutin، والسوبرين Suberin، وال Mucliage، والكالوس، والمعادن كالسيليكون والكالسيوم وبعض المواد الأخرى.

أما في حالة الجدران التي تكون سليلوزية بالكامل كالجدران الثانوية في شعيرات القطن، فإن الماء يشغل تلك الفراغات أو الحشوات.

أهمية جدار الخلية:

1- المحافظة على الخلية النباتية ميكانيكياً بإعطائها القوة والصلابة.

2- الحفاظ عليها من المؤثرات الخارجية.

3- واسطة لتبادل الأيونات بين الخلية والتربة Passive absorption

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

مكونات جدار الخلية:

يتكون جدار الخلية بشكل أساسي من الهيكل السليلوزي مع بعض المركبات الأخرى:

1- السليولوز: Cellulose

يكون الهيكل الأساسي لجدران الخلايا، والسليولوز عبارة عن سلاسل طويلة من جزيئات سكر الكلوكوز (300 - 800 جزيئة) مرتبطة مع بعضها بأواصر كلوكوسيدية نوع بيتا (β -1,4- glucoside linkage)، والسليولوز منفذ للماء والمواد الذائبة الأخرى المشابهة بصورة تامة. ويصطبغ باللون الأزرق عند معاملته باليود ثم بحامض الكبريتيك تركيز 65%.

2- المواد البكتينية: Pectic Substances

هي مواد تضم مادة البكتين وحامض البكتيك (α -1, 4, Polygalacturonic acid) الذي يوجد في تركيب الجدار الأولي وفي الصفيحة الوسطى بشكل بكتات الكالسيوم والمغنيسيوم، وعند تفاعل مجموعة الكاربوكسيل مع الميثيل يتكون (Methylgalacturonate) بشكل مجمعات والنتاج يدعى البكتين وهو مادة غروية محبة للماء.

3- أشباه (أنصاف) السليولوز Hemicellulose:

هو مركب كربوهيدراتي معقد مكون من خليط من مجمعات السكريات الخماسية كالأزايولوز والأرابينوز، ومجمعات سكريات سداسية مثل المانوز وغيرها التي توجد في الجدار الأولي.

4- اللكينين Lignin:

مجمعات من مركبات فينولية Phenyl Propanoids توجد في الصفيحة الوسطى والجدار الأولي وكذلك في الجدار الثانوي للأوعية والعضيات الخشبية والخلايا السلكرتيمية. وهو يكسب الخلايا الصلابة، وتتلون باللون الأصفر عند معاملتها بمحلول كبريتات الأنيلين.

5- السوبرين Suberin:

هو مادة شمعية تتركب من أحماض شحمية متجمعة ذات مجموعتين كاربوكسيلين، وهو غير منفذ للماء والغازات ويوجد في جدار خلايا الفلين phellin (ولهذا يستعمل الفلين كسدّاد للقناني) ويتلون باللون الأحمر عند المعاملة بصبغة سودان 3 (Sudan III) أو بلون أصفر عند المعاملة بمحلول اليود.

6- الكيوتين Cutin:

هو مادة شمعية مكونة من أحماض شحمية متجمعة ذات مجموعة كاربوكسيل واحدة يوجد في الجدار الخارجي لخلايا البشرة أو يكون طبقة الأدمة أو الكيوتكل Cuticle فوق خلايا البشرة، وهو غير منفذ للماء والغازات ويقاوم كثيراً من التفاعلات التي تحلل أو تذيب السليولوز ويكون بلون أحمر عند معاملته بصبغة سودان 3.

7- السليكا Silica:

مادة معدنية تترسب في جدران الخلايا لبعض الأنسجة، وخاصة بشرة الحشائش وتجعل حواف أوراقها حادة مسننة، كذلك توجد في جدران خلايا بعض الطحالب مثل الدايوتوم (Diatoms).

8- الكايتين Chitin:

مركب معقد مكون من وحدات (N-acetyl D-glucoseamine)، ويوجد في جدران خلايا الفطريات وبعض النباتات الواطئة.

9- الجيلاتين Gelatin:

يوجد في الجدار الثانوي لألياف بعض النباتات وفي أنسجة بعض الثمار والبذور، وهو مادة بروتينية غير معروف الفائدة.

10- الكالوس Callose:

مادة كربوهيدراتية مكونة من جزيئات الكلوكوز المرتبطة بأواصر نوع، B-1، B، 3-glucoside linkag، ويوجد في الأنابيب اللحاءية وأنابيب الحبوب اللقاحية. ويلون باللون الأزرق عند معاملته بصبغة Lacmoid أو أزرق الريسورسين Resorcin.

11- مركبات التانين والراتنجات Tannin and Resins:

توجد في جدران خلايا الخشب الصلب وتسبب زيادة متانته مقارنة بالخشب الرخو.

Vacuoles الفجوات

أنواع الفجوات Types of vacuoles

عبارة عن انتفاخات أو فقاعات مليئة بالسائل توجد في سايتوبلازم الخلايا النباتية والحيوانية وتكون متميزة في الخلية النباتية إذ تكون كثيرة العدد وكبيرة الحجم مقارنة بالخلية الحيوانية التي تكون فجواتها صغيرة جداً وقليلة في حالة وجودها، ورغم الجدل المستمر في عد الفجوات عضيات سايتوبلازمية أم لا؟، فإن الحقيقة المسلّم بها، هي أن الفجوات ذات منشأ ووظائف مختلفة، فهناك الفجوات أو الحويصلات الناقلة التي تنشأ عن الشبكة الاندوبلازمية وتملك امتدادات مرتبطة بالشبكة، وهناك الفجوات المتقلّمة Contractile vacuoles في خلايا بعض الابتدائيات Protozoa ذات الوظيفة الإبرازية، إذ بها يتم التخلص من الماء والفضلات الزائدة عن حاجة الخلية، كما تمتلك الكثير من خلايا الابتدائيات الفجوات الغذائية التي تحوي بداخلها دقائق من مواد غذائية.

تسمى الفجوات الموجودة في الخلايا النباتية بالفجوات العصارية وتحوي بداخلها العصير الخلوي Cell sap وتختلف باختلاف الخلايا، فالخلايا المرستيمية والفتية غير الناضجة تكون ممتلئة بالساييتوبلازم الذي يشكل نحو 90% من حجم الخلية ويحتوي على الكثير من الفجوات الصغيرة المملوءة بالعصير الخلوي، وعندما تتقدم الخلية بالعمر ونحو النضج فإن هذه الفجوات الصغيرة تلتحم مع بعضها لتكون فجوة واحدة مركزية في وسط الخلية الناضجة تشغل نحو 90% من حجم الخلية، بينما يشكل الساييتوبلازم حوالي 5% من حجم الخلية الناضجة، أما الأغشية الخلوية فتشكل الـ 5% الباقية. وتحاط الفجوة المعمارية بغشاء رقيق يسمى Tonoplast يفصلها عن الساييتوبلازم ويكون حاجزاً داخلياً ذا نفاذية اختيارية يقوم بعملية النقل الفعال لبعض الأيونات السالبة مثل (Cl⁻) وبعض المواد الأخرى، أما العصير الخلوي داخل الفجوة فيتألف من الماء بشكل رئيس فضلاً عن بعض المواد الذائبة فيه بشكل محاليل حقيقية أو غروية وأهمها التراكيز العالية من مركبات النتروجين العضوية وتتضمن الأحماض الأمينية والسكريات، وأحماضاً عضوية مختلفة وبعض البروتينات، فضلاً عن بعض المواد الدهنية والفينولية كالتانين، وبعض الصبغات كالانثوسيانين وغيرها.

الوظائف المهمة للفجوة العصارية:

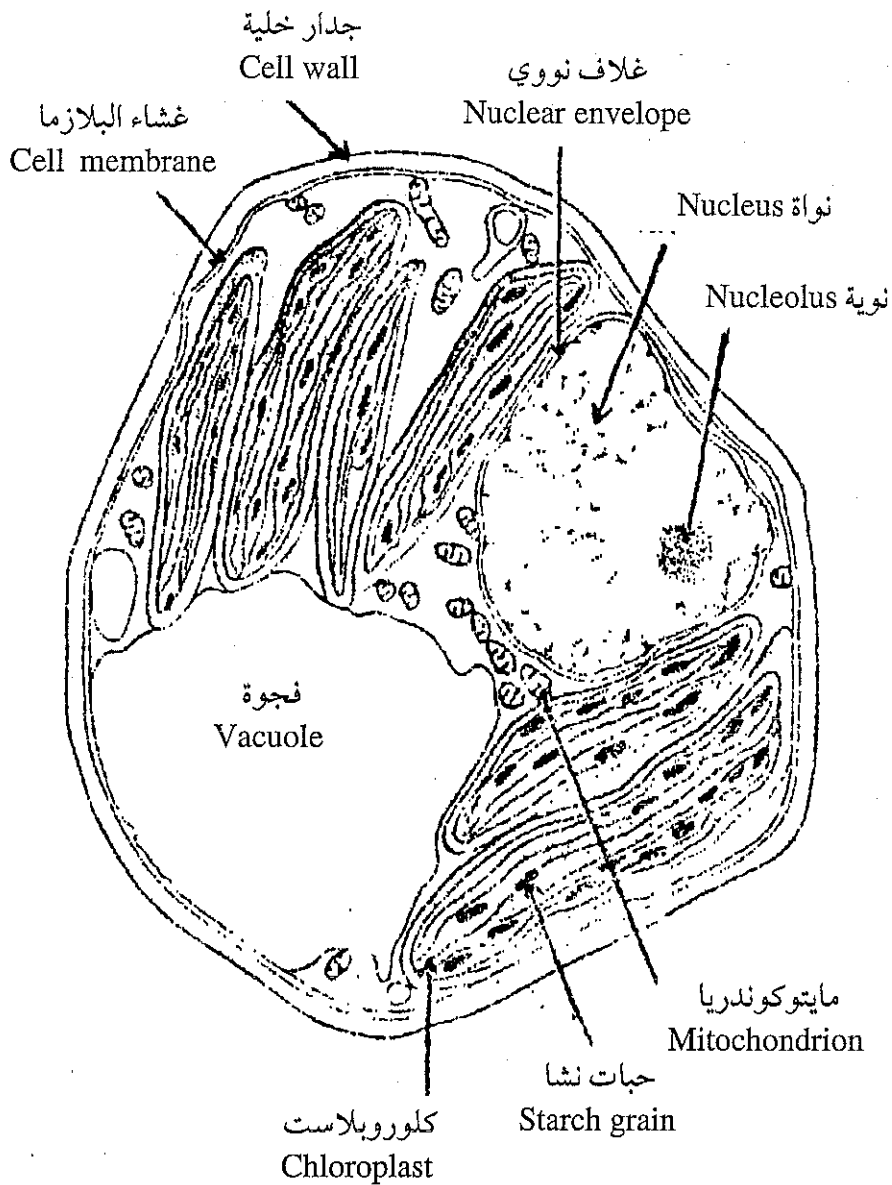
1- تعد المكان الرئيسي لتجميع نواتج التفاعلات (Ergastic substances) الأيضية كالسكريات والأملاح والأحماض العضوية.. الخ وبعض المركبات السامة، وبذلك تستطيع الفجوة جمع وفصل هذه المواد عن البروتوبلازم، كما تكون مكاناً لتخزين بعض المركبات الحيوية المهمة واستخدامها وقت الحاجة في عمليات البناء الحيوي للخلية.

2- تلعب دوراً مهماً في عملية الإفراز والإخراج، إذ بها يمكن التخلص من كثير من الفضلات الضارة.

3- تحافظ على الضغط الانتفاخي للخلية، إذ إن التراكيز العالية للمواد الذائبة في عصير الفجوة تسبب زيادة الضغط الأوزموزي للفجوة (والخلية)، فامتصاص الخلية للماء وانتفاخها يؤدي إلى صلابة النباتات وامتلاء خلاياه بالماء المهم في إنجاز الوظائف الحيوية المختلفة، وإذا ما خرج الماء من الفجوة والخلية تحدث عملية بلزمة الخلية وينكمش الساييتوبلازم ويبتعد عن الجدار الخلوي، ويحدث توتر كبير على الروابط البلازمية Plasmodesmata قد يؤدي إلى تقطعها مما يفقد الساييتوبلازم حيويته.

منشأ الفجوة العصارية وغشائها:

يعتقد بأن منشأ التونوبلاست Tonoplast والفجوة هو نتيجة لتكون حويصلات صغيرة من الشبكة الأندوبلازمية حسب رأي بونر وفارنر Bonner and varnerr عام 1965، بينما يعتقد مارينوس Marionos عام 1963 بأنها تنشأ عن أجسام كولجي، وافترض أن سمك غشاء الفجوة يقدر بـ 7.5 نانوميتر ويكون ثلاثي الطبقات كما في حالة الغشاء البلازمي.



شكل (2-7) Electron micrograph لخلية ورقة نبات ذرة، يمكن ملاحظة أن حجم البلاستيدات أكبر من المايكوكوندريا، وأن حجم الفجوة الكبيرة سيزداد مع زيادة عمر الخلية

مراجع الفصل السابع

- Brodie, D., A., J. Cell Biol., 90 (1981) 92.
- Lodish, H. and Rothman, J.E., Amer, 240 (1979) 48.
- Morre, D.J. et al, J. Ultr. Research, 74 (1981) 28.
- Northcote , D., Ann. Rev. Plant Physiol. , 23 (1972) 113.
- Ohad, I., Ann. Rev. Plant Physiol., 32 (1981) 111.
- Osmuni, M. et al., J. Ultr. Research, 75 (1982) 20.
- Rothman, J.E., Sci. Amer., 253, (1985) 74.
- Rothman, J.E. and Lenard, J., Trends Biochem. Sci., 9 (1984) 176.
- Schatz, G., Trends Biochen. Sci., 19 (1985) 95.
- Steinman, R.M. et al, J. Cell Biol, 96 (1983) 1
- Triemes, R.E., J. Phycol., 16 (1980) 46.
- Willison, J.H.M. and Brown, R.M.Jr., Cell Biol., 77 (1978) 103.
- Rothman, J.E., The Cell, 1995, Penguin, London, New York.
- John, S., The Cell, 1996, Cyandric Ltd., New York, USA.
- Brown, R.M. Jr., The Cell, 1999, Milos Ltd, Colorado, USA.
- Ryan, C., Cell Biology, 1995, Mc Graw- Hill Ltd., USA.

الفصل الثامن

عضيات الخلية

Cell Organelles

الشبكة الاندوبلازمية والرايوسومات

الرايوسومات الطليقة

الرايوسومات المرتبطة

الشبكة الاندوبلازمية الخشنة

الشبكة الاندوبلازمية الناعمة

التركيب الدقيق للشبكة الاندوبلازمية

وظائف الشبكة الاندوبلازمية

الميكروسومات (الأجسام الدقيقة)

جهاز كولجي

الأصل التكويني لجهاز كولجي.

وظائف جهاز كولجي

اللايسوسوم

الأصل التكويني

الأمراض الاليسوسومية

وظائف الاليسوسوم

المائتوكوندرية

أعداد وأشكال المائتوكوندرية

تركيب المائتوكوندرية

الأعراف

تكاثر المائتوكوندرية

وظائف المائتوكوندرية

البلاستيدات

البلاستيدات عديمة اللون

البلاستيدات الملونة

البلاستيدات الخضراء

النظام الوراثي في المائتوكوندرية والكلوروبلاست

العلاقة التطورية بين البكتيريا المائتوكوندرية والكلوروبلاست

علاقة المائتوكوندرية بالبلاستيدة الخضراء

الأجسام الدقيقة (الجسيمات البيروكسية)

أجسام مجهرية أخرى

عضيات الخلية

Cell Organelles

يمكن تعريف الساييتوبلازم على أنه « محلول غروي شبه شفاف يحوي جميع مكونات الخلية الحية وغير الحية عدا الغشاء البلازمي والنواة ...

يتكون الساييتوبلازم من ماء بشكل مركب أو طليق (85 - 90%) وبروتينات (7-10%) وشحوم (1-2%) ومواد عضوية أخرى (1-1.5%) ومواد غير عضوية (1-1.5%) ، كما يتأثر بالعديد من المؤثرات الخارجية أو الداخلية كدرجة الحرارة والأس الهيدروجيني ومؤثرات ميكانيكية وفيزيائية وكيميائية مختلفة .

يمكن تقسيم الساييتوبلازم إلى قسمين رئيسيين هما:

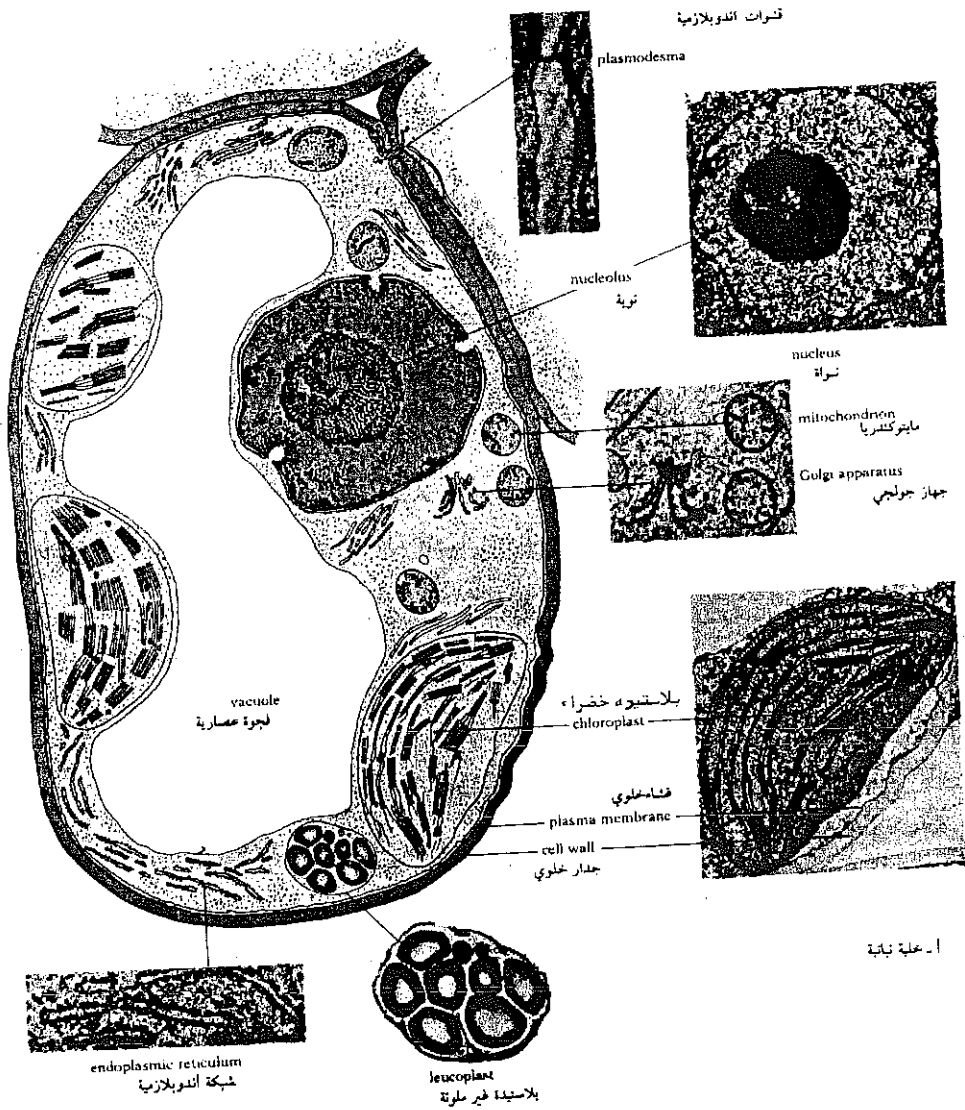
(أ) الجهاز الفجوي The Vacuolar System أو نظام الأوعية الغشائية الداخلية Endomembrane الذي يتكون من مجموعة من الأنابيب الدقيقة أو الحويصلات أو الأكياس الغشائية المتفرعة والمتشابكة مع بعضها تنقل المواد المختلفة بين أجزاء الخلية المختلفة، ويضم الجهاز الفجوي الشبكة الأندوبلازمية (بنوعيهما) والغلاف النووي ومعقد كولجي.

(ب) الحشوة الساييتوبلازمية Cytoplasmic Matrix أو أرضية الساييتوبلازم Ground Cytoplasma التي تضم:

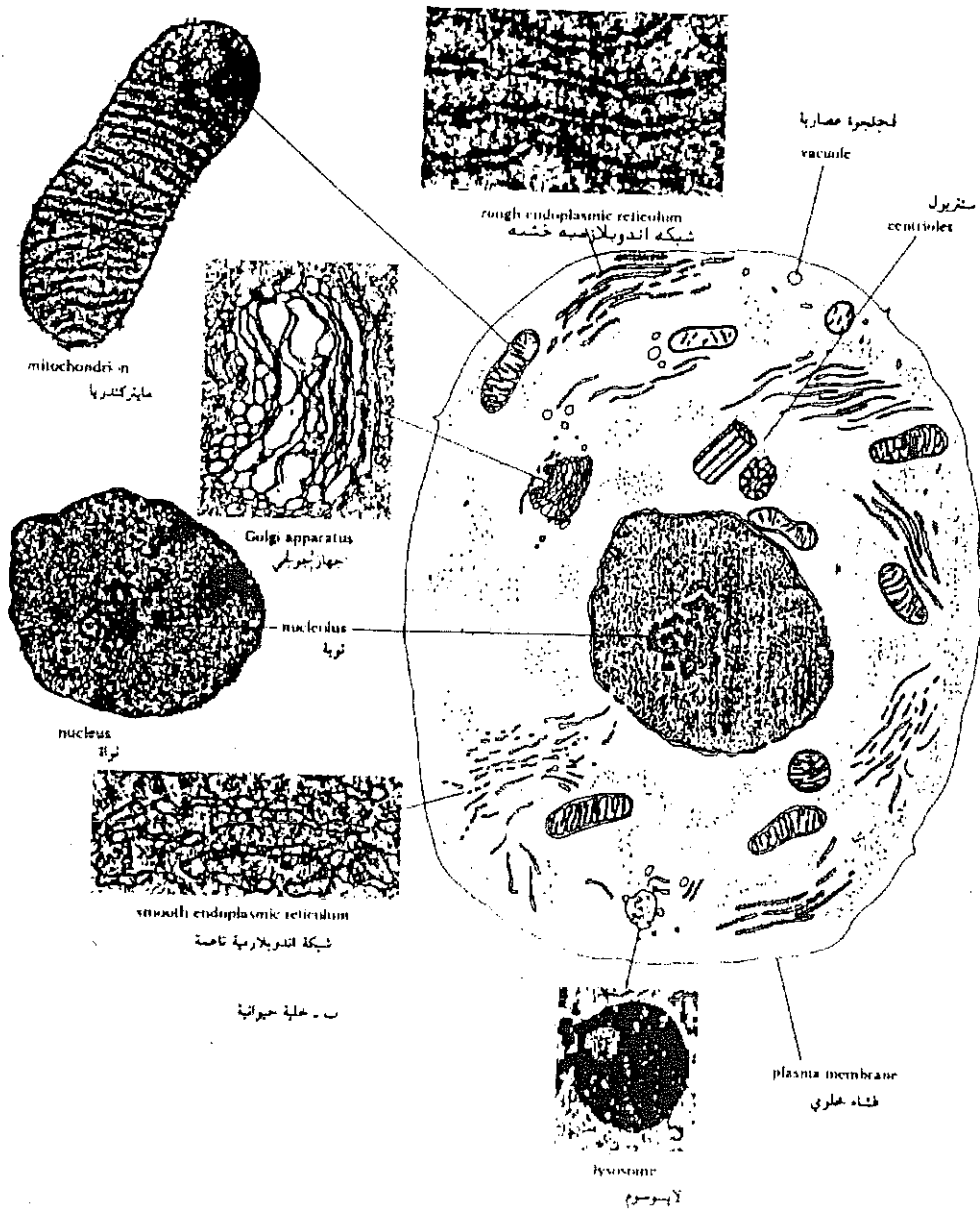
(1) العضيات الغشائية Membrane Organelles التي تضم الميتوكوندريا والبلاستيدات واللايسوسومات والرايبوسومات والجسيمات البيروكسية.

(2) الهيكل الساييتوبلازمي Cytoskeleton الذي يسند الأجزاء الداخلية للخلية (الذي سيتم شرحه تفصيلاً في الفصل التاسع).

(3) السائل الخلوي (الساييتوسول Cytosol) وهو سائل عديم التركيب، الخلوي يحوي الكثير من الأنزيمات المساهمة في العمليات الحيوية للخلية.



شكل (8-1): رسم تخليطي لخلية حيوانية نموذجية على ما تبدو خلال المجهر الالكتروني



شكل (8-2): رسم تخطيطي لخلية نباتية نموذجية على ما تبدو خلال المجهر الالكتروني

(أ) الجهاز الفجوي The Vacuolar System

(1) الشبكة الأندوبلازمية والرايبوسومات

The Endoplasmic Reticulum and Ribosomes

الشبكة الأندوبلازمية مجموعة واسعة من الأوعية الغشائية (قنوات دقيقة أو حويصلات أو أكياس) متفرعة ومتصلة مع بعضها البعض مكونة نظاماً مغلقاً مرناً من التجاويف داخل سايتوبلازم الخلية ذات النواة الحقيقية (عدا البكتريا والطحالب الخضراء المزرقة)، وقد اشتقت التسمية من الكلمة اللاتينية (Reticulus) وتعني « شبكة صغيرة».

وكلمة «أندوبلازم» تعني الساييتوبلازم، وتحاط أوعية الشبكة الأندوبلازمية بغشاء مفرد (يتركب كما في الغشاء البلازمي) وينتشر إلى مسافات كبيرة داخل الساييتوبلازم حيث تصل المساحة السطحية التي يشغلها أكثر من عشرة أضعاف المساحة التي يشغلها الغشاء البلازمي، ويعتقد بأنه يتصل بالغشاء البلازمي من جهة وبالعشاء الخارجي للنواة من جهة أخرى مقسماً الحشوة الساييتوبلازمية إلى طورين مميزين هما : الساييتوبلازم المحصور داخل تجاويف الشبكة الأندوبلازمية ويسمى الساييتوبلازم الداخلي interacisternal phase أو Lumenal والساييتوبلازم الشفاف أو الزجاجي أو الساييتوسول hyaloplasmic أو Cytosol الذي يحيط بأوعية الشبكة الأندوبلازمية من الخارج، ويحتوي الساييتوبلازم الزجاجي على جسيمات صغيرة دائرية لا يزيد قطرها عن 200 انكستروم تسمى الرايبوسومات التي توجد على صورتين هما :

1- الرايبوسومات الطليقة أو الحرة : Free Ribosomes

تكون متناثرة داخل الساييتوبلازم الزجاجي بشكل مؤقت وقد تكون معلقة في الساييتوبلازم الزجاجي على هيئة صفوف أو تجمعات كتلية تعرف بالرايبوسومات المتعددة (Polyribosomes) التي ترتبط مع بعضها بالحامض النووي الرايبوزي الرسول RNA وتقوم ببناء البروتين الذي يستخدم داخل الساييتوبلازم (كبناء الأنزيمات أو زيادة المادة الساييتوبلازمية في الخلايا السرطانية المنقسمة، أو زيادة البروتين في الهيموجلوبين الخاص بالخلايا المولدة لكريات الدم خلال مرحلة نموها قبل النضج ...).

ب- الرايبوسومات المرتبطة: Attached Ribosomes:

توجد على شكل تجمعات أو تكتلات مرتبطة بالسطح الخارجي لأغشية الشبكة الأندوبلازمية (كذلك الغشاء الخارجي للنواة وأحياناً أغشية عضيات أخرى) وهي مسؤولة عن بناء البروتينات المستخدمة خارج الخلية، أو المتحول والمكون لعضيات الخلية المختلفة، ورغم أن الرايبوسوم المفرد يستطيع ربط الأحماض الأمينية مع بعضها وتكوين البروتين إلا أن تكون البروتينات يحدث غالباً بالرايبوسومات المتجمعة التي ترتبط بالحامض النووي الرايبوزي الرسول (m RNA) الموجود في الساييتوبلازم الزجاجي الذي يحمل المعلومات اللازمة لبناء البروتين وتقوم الرايبوسومات بالتدريج على طول الحامض الرايبوزي الرسول m RNA لقراءة رموزه وتكوين جزيء البروتين الذي يتناسب طوله مع عدد الرايبوسومات المتجمعة، ويعتقد بأن الرايبوسومات غير متخصصة في تكوين بروتين معين، فالرايبوسوم يستطيع تكوين أي حامض أميني حسب نوع الشفرة الثلاثية التي يستلمها من الحامض الرايبوزي الرسول.

تم تقسيم الشبكة الأندوبلازمية إلى نوعين اعتماداً على وجود الرايبوسومات على سطحها هما:

1- الشبكة الأندوبلازمية الخشنة أو المحببة Bough E.R

وتشمل عناصر الشبكة الأندوبلازمية التي تحتوي أغشيتها على رايبوسومات مرتبطة بها (شكل 8-2.1) وتقوم هذه الرايبوسومات بربط الأحماض الأمينية الموجودة في الساييتوبلازم الزجاجي المحيط بها، فضلاً عن الحامض الرايبوزي الرسول mRNA والناقل tRNA وتكوين جزيئات البروتين المخصص للنقل والافراز خارج الخلية ومن الفرضيات المقترحة لعملية بناء البروتين هي فرضية العلامة (Signal hypthesis) التي تعتقد بأن البروتينات المخصصة للنقل خارج الخلية تحتوي على سلاسل من الأحماض الأمينية ذات العلامة (المعرفة) تسمى Signal Sequences فعند تجمع البروتينات حديثة التكوين بواسطة الرايبوسوم الحر (غير المرتبط بالغشاء) فإن الجزء المعلم Signal portion للسلاسل الببتيدية المستمرة بالتكوين يرتبط (يمسك) بعامل التعريف (factor recognition) الذي يحمل الشفرة الوراثية والرايبوسوم وبعضها من البروتين الكلي ويلصقهم بالموقع الحويضي (docking site) الذي يمثل مكان الربط الموجود على سطح غشاء الشبكة الأندوبلازمية (للمزيد من التوضيح، يرجى مراجعة فصل تكوين

البروتين)، وبعد اكتمال تكون البروتين ينفذ قسم منه إلى تجاويف الشبكة الأندوبلازمية وينتقل إلى جهاز كولجي، وان بعضاً من جزئيات البروتين المتكونة حديثاً قد تحاط بغشاء حويصلي فيتبرعم من أغشية الشبكة الأندوبلازمية ويكون خالياً من الرايبوسومات، وتنتقل هذه الحويصلات (التي تسمى الحويصلات النقالة Transport vesicles) إلى جهاز كولجي عبر الساييتوبلازم لتفرغ محتوياتها البروتينية داخل أوعيته الخازنة (Cisternae) ثم تندمج بقايا الحويصلات الغشائية الممزقة مع أغشية جهاز كولجي لتضيف لها مواد جديدة.

هنالك آراء تعتقد بان الشبكة الأندوبلازمية نشأت في الخلية حقيقية النواة من تطور خلية ذات نواة بدائية حملت في سطحها الخارجي بروتينات كالاقدام الوهمية اندفعت إلى داخل الخلية مكونة تفرعات أخرى باتجاهات أخرى، حتى كونت الشبكة الأندوبلازمية والغشاء النووي.

ب- الشبكة الأندوبلازمية الملساء أو الناعمة Smooth E.R

وتشمل عناصر الشبكة الأندوبلازمية ذات الأغشية الخالية من الرايبوسومات الملتصقة، وتحتوي أغشيتها على كثير من الأنزيمات المطمورة بداخلها التي لا تعمل عندما تتواجد حرة أو طليقة داخل الساييتوبلازم . وتعمل هذه الأنزيمات على المساعدة في بناء نوع من الكربوهيدرات والدهون . ويعتقد بأن منشأ الشبكة الأندوبلازمية الملساء هو الشبكة الأندوبلازمية الخشنة التي تتصل وتكون نسبة عناصرها متباينة إذ تعتمد على نوع الخلايا وعمرها ووظائفها، فمثلاً تكون عناصر الشبكة الأندوبلازمية الملساء، واسعة ومتطورة في الخلايا الغدية التي تعمل على تكوين الهرمونات وفرزها حيث تعمل الأنزيمات الموجودة في أغشيتها على المساعدة في بناء وتكوين هذه الهرمونات كما في خلايا الطبقة القشرية للغدة الكظرية، كذلك تكون الشبكة الملساء واسعة في الخلايا التي تقوم ببناء الشحوم Lipids كخلايا الخصي، وخلايا الأمعاء التي تقوم ببناء ثلاثية الكليسرين Triglycerides وخلايا المخ. وكذلك في خلايا الكبد التي تنهك في عمليات التخلص من السمية detoxification وتعتمد خلايا الكبد مركزاً للتفاعلات الخاصة بإبطال التأثير السمي لبعض العقاقير مثل: امفيتامين amphetamines والمورفين morphine وكودين codeine وفينوباربيتال phenobarbital، كما تقوم عناصر الشبكة الأندوبلازمية الملساء في بعض خلايا المعدة بتركيز أيونات الكلور وإفراز حامض

الهيدروكلوريك، وتقوم الشبكة الأندوبلازمية بشكل عام بنقل البروتينات المكونة بما فيها الأنزيمات، والشحوم وبعض المواد الأخرى إلى أجزاء الخلية الأخرى لاسيما جهاز كولجي، وقد تتجمع بعض هذه المواد أحياناً داخل تجاويف الشبكة الأندوبلازمية لتخزن فيها فترات معينة.

The Fine Structure of ER الشبكة الأندوبلازمية

تمد الشبكة الأندوبلازمية والغلاف النووي وأجسام كولجي امتداداً طبيعياً للغشاء البلازمي المحيط بالخلية، ورغم اختلاف العلماء في أصل الشبكة الأندوبلازمية، فبعضهم يعتقد أنها امتداد للغشاء البلازمي، بينما يعتقد البعض الآخر أنها امتداد للغلاف النووي، وتكون نسبة البروتين إلى الشحوم عالية في الشبكة الأندوبلازمية خشنة لوجود الرايبوسومات على سطحها. بينما تنعكس هذه النسبة في الشبكة الأندوبلازمية الناعمة، علماً أن زيادة تركيز البروتين والحامض النووي الرايبوزي تتناسب طردياً مع معدل نمو الخلية الحية.

كان الاعتقاد السائد أن الشبكة الأندوبلازمية المساء تعمل وسيلة اتصال بين الشبكة الأندوبلازمية الخشنة وبين مكونات الخلية الأخرى، ولكن أثبتت الدراسات الحديثة أن عملية نقل المواد خلال الشبكة أكثر تعقيداً من ذلك، فبعض البروتينات المكونة من الرايبوسومات المرتبطة - على سبيل المثال - تنتقل إلى الشبكة الأندوبلازمية الخشنة ومنها إلى الناعمة ومنها إلى عضيات الخلية الأخرى، بينما تنتقل بروتينات أخرى من الشبكة الأندوبلازمية الخشنة مباشرة إلى عضيات الخلية.

وظائف الشبكة الأندوبلازمية:

تم اقتراح عدد من الوظائف للشبكة الأندوبلازمية، أهمها:

- 1- تجزء سايتوبلازم إلى أجزاء مستقلة مما يوفر الدعم الميكانيكي للسايتوبلازم الغروي - بمساعدة الهيكل الخلوي -، كما يسهل عمليات الأيض المختلفة .
- 2- تلعب دوراً مهماً في تبادل المواد بين الأرضية السايتوبلازمية والجوف الداخلي للشبكة نظراً للصفات الاسموزية التي تمتلكها.
- 3- تقوم الشبكة الأندوبلازمية في الخلايا العصبية بنقل التغيرات الكهربائية والأوامر العصبية.

- 4- تعد الشبكة الأندوبلازمية «جهاز دوران الخلية» إذ يتم عن طريقها تبادل مواد مختلفة باتجاهات معينة، فهي تنقل البروتينات المصنعة من قبل الرايبوسومات - مثلاً - إلى عضيات الساييتوبلازم عبر السائل الخلوي (الساييتوسول)، كما تتم إزالة بعض المواد الضارة للخلية عن طريقها .
- 5- تزيل بعض الأنزيمات الخاصة المنتشرة على سطح الشبكة سمية بعض المواد الضارة للخلية.
- 6- تعد وسيلة إتصال بين غشاء البلازما والغلاف النووي من جهة وبقية مكونات الخلية المختلفة.
- 7- تشترك بصورة فعالة في بناء البروتينات وبناء الكلايكوجين وبناء بعض الهرمونات.

الميكروسومات « الأجسام الدقيقة » Microsomes

لا تحتوي الخلية الحية على ميكروسومات Microsomes ولكن عند تحطّمها وفصل أجزائها بواسطة الطرد المركزي فإن بعض الحويصلات والأكياس والأنابيب المجوفة الغشائية المكونة للشبكة الأندوبلازمية تنغلق وتصبح بشكل أجسام كروية أو بيضوية أو غير منتظمة تحوي - أحياناً - بداخلها أو على سطحها الخارجي رايبوسومات، ولهذا لا يمكن اعتبارها عضيات حقيقية رغم سهولة فصلها بالطرد المركزي نظراً لاختلاف كثافتها عن كثافة الرايبوسومات وأجسام كولجي.

استعمل علماء الخلية الميكروسومات - رغم كونها عضيات وهمية - كوسيلة سهلة لدراسة التركيب الدقيق للشبكة الأندوبلازمية، لأن كل ميكروسوم عبارة عن شبكة أندوبلازمية مصغرة، وأمكن استنتاج - من هذه الدراسات - ما يأتي:

- 1- وجود نشاط تنفسي ضعيف داخل الشبكة الأندوبلازمية لاحتوائها أربعة أنزيمات تنفسية، رغم عدم وجود دليل واضح على وجود صلة بين تنفس الشبكة الأندوبلازمية والتنفس الحادث داخل الميتوكوندريا.
- 2- التشابه الواضح بين التركيب الدقيق للغشاء البلازمي، والتركيب الدقيق للشبكة الأندوبلازمية .
- 3- أهمية الرايبوسومات المرتبطة بالشبكة الأندوبلازمية الخشنة في عملية صنع البروتين للخلية الحية.

2- جهاز كولجي The Golgi Apparatus

ويسمى أيضاً أجسام كولجي Golgi Bodies أو معقد كولجي Golgi complex وتم اكتشافه أول مرة من قبل الطبيب الإيطالي كاميلو كولجي Gamillo Golgi عام 1898 خلال مشاهدته تراكيب مسطحة خيطية الشكل قرب النواة في سايتوبلازم الخلية العصبية، ثم جاءت دراسات المجهر الالكتروني عام 1950 لكل من دالتون A.J.Dalton وفيلكس M.D.Felix وكذلك جوستراند لتؤكد F. Sjostrand وجود هذا الجهاز (شكل 3-8) المتكون من :

- 1- أوعية مفلطحة خازنة (Cisternae) التي هي عبارة عن أكياس غشائية مليئة بمواد سائلة، تختلف بعضها عن بعض في الشكل وإن تجمعها صفات عامة، يبلغ قطر المنطقة المفلطحة من الوعاء نحو 0.5-1 مايكرومتر.
- 2- شبكة من الأنابيب Tubules التي تتفرع بكثرة لربط الأوعية المفلطحة مع بعضها، ويبلغ قطر الواحد منها نحو 0.03، 0.05 مايكرومتر.
- 3- حويصلات مغلقة Coated Vesicles بطبقة مرنة من بروتين كلاثرين Clathrin تنشأ من نهايات الأنابيب وتقوم بالنقل الاختياري للمواد من وإلى جهاز كولجي.
- 4- حويصلات ملساء Smooth Vesicles تنشأ من نهايات الأنابيب وتقوم بنفس وظيفة الحويصلات المغلفة إلا أنها لا تحتوي طبقة بروتينية.
- 5- حويصلات إفرازية Secretory Vesicles تنشأ من نهايات الأغشية الطبقية للسطوح المفلطحة للأوعية المفلطحة الخازنة، وتسمى أحياناً «اللايسوسومات الأولية» والتي تنشأ منها لايسوسومات الخلية، كما سيرد في موضوع «اللايسوسوم Lysosome».

تحتوي الخلية الواحدة على (1 - 25.000) دكتيوسوم ويكون العدد الطبيعي في معظم الخلايا بين (20 - 100) دكتيوسوم في كل خلية، ويزداد العدد في الخلايا الغدية التي تنتج الإفرازات كالبنكرياس، كما يبلغ العدد نحو عدة مئات من الدكتيوسومات في الخلية النباتية لا سيما خلايا القنسوة لقبة الجذر Root Cap، وقد تختفي الدكتيوسومات تماماً في بعض الخلايا أو في بعض مراحل النمو التطورية. ويتكون الدكتيوسوم الواحد عادة من (5-8) من الأكياس المفلطحة الخازنة (Cisternae) في

معظم الكائنات الراقية، ويزيد العدد عن (30) وعاءاً في الكائنات الواطئة، وقد تحتوي بعض الخلايا كما في بعض الأنواع من الفطريات على وعاء واحد مفرد خلافاً للطبقات (الحزمة) المتكونة منها في بعض الخلايا الأخرى، أو تحمل أنظمة من الأنابيب المنتجة للحويصلات عملها عمل جهاز كولجي.

يحتوي كل دكتيوسوم على وجهين : أحدهما تكويني Forming Face والآخر نضجي Maturing Face، حيث يكون الوجه التكويني قريباً من الغلاف النووي والشبكة الأندوبلازمية، وتكون الأغشية الخاصة بالأوعية الخازنة القريبة من هذا الوجه مشابهة في شكلها وخواصها لأغشية الشبكة الأندوبلازمية والغلاف النووي، وأما الوجه النضجي فيكون بعيداً عن النواة وقريباً من غشاء البلازما، وتكون أغشية الأوعية الخازنة القريبة من هذا الوجه في حالة تغير مستمر وتحولات شكلية وكيميائية، وبذلك فهي تشابه خواص غشاء الخلية القريب منها، إلا أنها تكون أكثر سمكاً وكثافة وأوضح في شكلها ثلاثي الطبقة من غشاء البلازما، لذلك يعتقد أن منشأ جهاز كولجي هو الغلاف النووي أو الشبكة الأندوبلازمية المتصلة به - حسب أحد الآراء.

يقع جهاز كولجي في معظم خلايا الكائنات الحية في منطقة واحدة قرب النواة تكون خالية تماماً من عضيات أخرى كالرايوسومات والميتوكوندريا، مما يشير إلى عدم حصول بناء للبروتينات في هذا الجهاز.

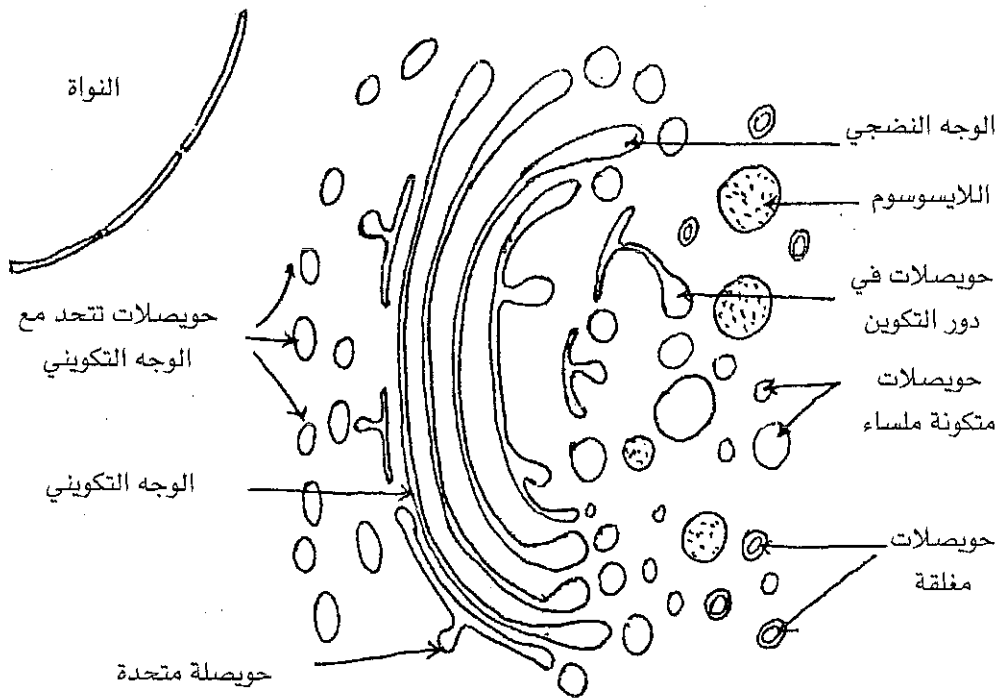
الأصل التكويني لجهاز كولجي

تطلق كلمة جهاز أو معقد كولجي على مجموعة مترابطة من الدكتيوسومات التي تعمل كمجموعة عمل واحدة، وقد يتم إطلاق كلمة «جهاز» أحياناً على دكتيوسوم واحد والمجموعة المحيطة به من حويصلات وأنابيب. وهناك ثلاثة مصادر لمنشأ جهاز كولجي (شكل 4-8) هي:

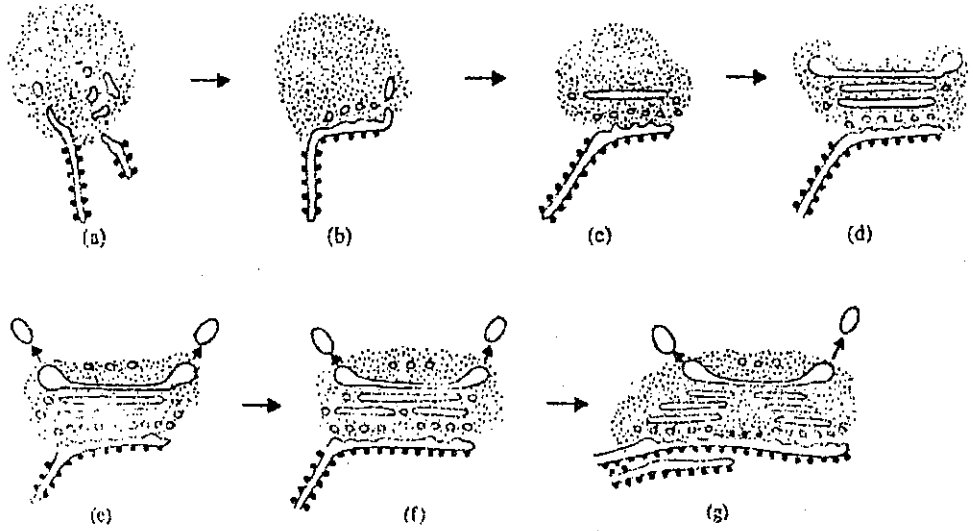
1- نشوء الجهاز من الحويصلات الغشائية الناتجة عن الغلاف النووي للشبكة الأندوبلازمية، أو من الحويصلات الناقلة للبروتينات من الرايوسومات إلى الشبكة الأندوبلازمية الخشنة ومنها تنطلق إلى الساييتوبلازم لبدء تكوين جهاز كولجي. وهناك أدلة جيدة ناتجة عن صور المجهر الإلكتروني لإثبات ذلك، ولكن لا يوجد دليل على تكون دكتيوسوم كامل بهذه الطريقة.

2- قد ينشأ جهاز كولجي من تجمع حويصلات غشائية صغيرة في مناطق تقع بالقرب من الغلاف النووي أو الشبكة الأندوبلازمية تسمى « مواقع الأبعاد أو الاستثناء Zones of exclusion »، التي لوحظ فيها - من خلال المجهر الإلكتروني - وجود دكتيوسومات صغيرة في بداية التكوين، وليس هناك دليل قاطع على كيفية تكون هذه الحويصلات والدكتيوسومات.

3- قد تنشأ دكتيوسومات الخلايا الجديدة المتكونة نتيجة انقسام دكتيوسومات الخلية الأبوية، حيث تحتوي كل خلية بنتية متكونة بعد الانقسام على نفس عدد دكتيوسومات الخلية الأبوية، ولا تختفي الدكتيوسومات في أثناء الانقسام الخلوي ويمكن مشاهدتها قرب المغزل، ولكن لا توجد أية أدلة على انقسام دكتيوسومات الخلية الأبوية، وإنما لوحظ فقط زيادة عددها.



شكل (3-8) : تركيب جهاز كولجي



شكل (4-8) : الأصل التكويني لجهاز كولجي من الشبكة الأندوبلازمية

وظائف جهاز كولجي

يعمل جهاز كولجي - بصورة عامة- في تجميع الجزئيات المخلقة حياتياً مثل البروتينات والكربوهيدرات والدهون - داخل الخلية- والمنتقلة اليه عبر قنوات الشبكة الأندوبلازمية الخشنة ثم الناعمة أو عن طريق حويصلات الناقلة، ثم توزيعها عن طريق الأوعية الخازنة cisternae التي تقوم بتكوين حويصلات vesicle تقوم بنقل هذه المواد إلى أجزاء الخلية المختلفة .

يتم اتحاد بعض البروتينات والكربوهيدرات داخل جهاز كولجي لتكوين البروتينات السكرية Glycoprotein، وكذلك اتحاد الدهون والكربوهيدرات لتكوين دهون سكرية Glycolipids .

يقوم جهاز كولجي بوظائف أخرى مهمة، تختلف من خلية لأخرى - منها :

- 1- المساعدة على تكوين الصفیحة الوسطی وجدار الخلية النباتية، حيث لوحظ تجمع عدد من الحويصلات الغشائية المفرزة من قبل جهاز كولجي في وسط المغزل والتصاقها بأليافه، وإفرازها تراكيز معينة من الكربوهيدرات مما يؤدي إلى تكون الصفیحة الوسطی ثم جدار الخلية النباتية في نهاية عملية انقسام الخلية النباتية.

- 2- تتجمع حويصلات جهاز كولجي في أطراف الخلية العصبية وتفرز مادة أستيل كولين Acetyl Choline التي تنتقل من خلية عصبية لأخرى حاملة الإشارات أو الأوامر العصبية.
- 3- يوجد معقد كولجي في خلايا قلنسوة الجذر Root cap بتراكيز كبيرة حيث تقوم بإفراز مواد إلى 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 الإفرازية الممزقة - بعد طرح محتوياتها - بالغشاء.
- 5- يقوم جهاز كولجي في خلايا الأمعاء بإفراز أنزيم زايموجين Zymogen الذي يحتوي على أنزيمات هاضمة محللة للبروتينات والشحوم والكربوهيدرات والحوامض النووية.
- 6- يساعد جهاز كولجي في عملية تكوين اللايسوسومات Lysosomes حسب أغلب الآراء.
- 7- يساعد الجهاز في تكوين بعض البروتينات المهمة مثل بروتين الاكروسوم Acrosome الداخل في تركيب الحيامن.

ب- العضيات الغشائية

Membrane Organelles

1- اللايسوسوم Lysosome

هي أكياس غشائية ذات أشكال وأحجام مختلفة، يتراوح قطرها بين 0.25-0.5 مايكرون تنتشر داخل سايتوبلازم الخلية، تفتقر إلى وجود تراكيب داخلية فيها، وتحوي بداخلها أنزيمات محللة Hydrolytic enzymes المسؤولة عن تحليل معظم الجزيئات الكبيرة في الخلية، وتكون متصلة بالغشاء اللايسوسومي أو مذابة بشكل محلول داخل اللايسوسوم.

قام باكتشاف اللايسوسومات العالم الفرنسي كريستيان دي دوف Chridstian de

Duve عام 1950، حيث كان يعمل على تنقية أنزيم الفوسفاتيز الحامضي Acid phosphatase من كبد الفئران. وقد وجد أن فعالية الأنزيم تزداد في الأنسجة المعزولة بالماء مقارنة بالانسجة المعزولة في محلول السكروز، كما أن فعالية الأنزيم تزداد في أنسجة كبد الفأر البالغ مقارنة بكبد الفأر الفتى، وكذلك تزداد بعد إزالة تجميد أنسجة كبد الفأر، وكذلك عند إضافة المذيبات العضوية إليه، وهذا أدى به إلى استنتاج :

« توجد أنزيمات الفوسفاتيز الحامضية داخل إحدى عضيات الخلية المحاطة بغشاء سايتوبلازمي، وعند تمزق هذا الغشاء - بفعل عمليات فيزيائية (مثل الإذابة بعد التجميد أو السحق ...) أو كيميائية (مثل استعمال مذيبات عضوية)-، تنطلق هذه الأنزيمات إلى سايتوبلازم الخلية مما يؤدي إلى ظهور فعاليتها بوضوح بعد أن كانت محصورة داخل كيس غشائي أو « محدودة الفعالية » داخل العضية.

لقد أطلق دي دوف اسم « اللايسوسوم Lysosome » على هذه العضية التي تعني «الجسم الحال»، وقد تمكن عام 1966 من تنقية اللايسوسومات، وتمت رؤيتها من خلال المجهر الإلكتروني، وقد حاز على جائزة نوبل عام 1974 تكريماً له على هذا الاكتشاف.

قارب عدد أنزيمات التحلل المائي المكتشفة في اللايسوسومات ستين أنزيماً، ترتبط بالسطح الخارجي أو الداخلي للغشاء اللايسوسومي أو توجد بصورة مذابة داخل اللايسوسوم، ولا توجد هذه الأنزيمات عادة في السايتوبلازم، ولا يعني ذلك أن جميع الأنزيمات توجد في لايسوسوم واحد، فأنزيمات «بيروكسيدس Peroxidases » توجد في لايسوسومات كريات الدم البيضاء، ونادراً ما توجد في غيرها. ويبين الجدول (1-8) أهم المجاميع الأنزيمية في اللايسوسومات.

توجد اللايسوسومات في معظم شعب الحيوانات متعددة الخلايا، وإن كان لها أشكال مختلفة، وتقع في مواقع من الخلية وحسب نوع تلك الخلية، بينما تنعدم في الكائنات الحية ابتدائية الخلية، وإن كان الغشاء البلازمي (أو السايتوبلازم) للخلية الابتدائية يحوي أنزيمات محللة شبيهة بأنزيمات التحلل المائي في اللايسوسومات. ويمكن عد «الفجوة المركزية Central Vacuole » في معظم خلايا النبات عبارة عن

لايسوسوم متحرك، وإن كان للفجوة المركزية خواص أخرى لا تشبه خواص اللايسوسوم كقابليتها على خزن بعض المواد الغذائية والسوائل.

جدول (1-8) أمثلة من أهم المجاميع الانزيمية في اللايسوسوم

المادة الاولية	الانزيم
عدد من البروتينات والسلاسل الببتدية	الأنزيمات المحللة للبروتينات كاثبسن أ 1، ب 1، س 1، د 1 Cathepsin A1 B1 C1 D and E
السلاسل الببتدية	ببتيداز Peptidase
كولا جين	كولاجسين Collagenase
	الأنزيمات المحللة للحوامض النووية :
دن آ DNA	أنزيم هاضم لل دن Deoxyribonuclease
رن آ RNA	أنزيم هاضم لل رن أ Ribonuclease
	الأنزيمات المحللة للفوسفات:
استرات أحادية فوسفاتية	انزيم حامض فوسفاتيز Acid phosphatase
اوليكو نيوكليوتايدات	انزيم ثنائي ايستريز Phosphodiesterase
	الأنزيمات المحللة لسلاسل السكريات البروتينية والدهنية:
Beta - galactosidase	ب- كلاكوسايديز Beta - galactosidase
Bete- glucuronidase	ب- كلوكرونسايديز Bete- glucuronidase
	الأنزيمات المحللة للشحوم:
Lecithin	فوسفولايبيز Phospholipase
استرات الحوامض الدهنية	ايستريز Esterase
Sphingomyelin	سفنكومايليز Sphingomyelin

الأصل التكويني للليسوسوم

تقوم الرايبوسومات المجاورة للشبكة الأندوبلازمية الخشنة بصنع البروتينات التي ستكون الليسوسومات، وكذلك بصنع أنزيمات محللة. ولكن لا تزال عملية تكون الليسوسومات داخل الخلية تخضع لفرضيتين (شكل 8-5)، هما:

1- تنص الفرضية الأولى على قيام أجسام كولجي بصنع «الليسوسومات الأولية Primary lysosomes» داخلها من البروتينات المنتقلة إليها من الرايبوسومات عبر أجزاء من الشبكة الأندوبلازمية (الخشنة أو الناعمة) ثم تتفصل الليسوسومات الأولية عن جهاز كولجي.

2- تنص الفرضية الثانية (فرضية نوفيكوف Novikoff's Hypothesis) على تكون الليسوسومات الأولية من منطقة في الشبكة الأندوبلازمية الناعمة قريبة من جهاز كولجي، ولهذا تم تسمية هذه المنطقة «جيرول GERL» التي هي اختصار للعبارة الانكليزية:

"Golgi associated Endoplasmic Reticulum Forming Lysosomes"

ومعناها « الشبكة الأندوبلازمية المتصلة بجهاز كولجي للليسوسوم »

تتفق جميع الآراء على أن « الليسوسومات الأولية » تحوي أنزيمات فعالة ولكن غير عاملة لعدم وجود المادة التي يمكن تحليلها « فقدان المادة الأساس substrate»، ولكن عند اتحاد الليسوسوم الأولي مع إحدى الحويصلات الخلوية Endocytic vesicle، التي تتكون بعملية الإدخال الخلوي Endocytosis، فإن الليسوسوم الثانوي secondary lysosome يتكون، والذي يحوي أنزيمات فعالة للغاية، نظراً لوجود المادة الأساس substrate، وارتفاع الأس الهيدروجيني PH إلى 5.5. ومن الجدير بالذكر أن الحويصلة الخلوية قد تكون صغيرة الحجم وتتكون من خلال عملية الشرب الخلوي Pinocytosis التي تشمل إحاطة الساييتوبلازم لبعض الجزيئات الغذائية، (التي قد تكون سائلة أو صلبة)، الصغيرة أو قد تكون الحويصلة الخلوية كبيرة الحجم وتتكون من خلال عملية الالتهام الخلوي Phagocytosis، التي تشمل إحاطة الساييتوبلازم ببعض الجزيئات الكبيرة - البكتيريا مثلاً-.

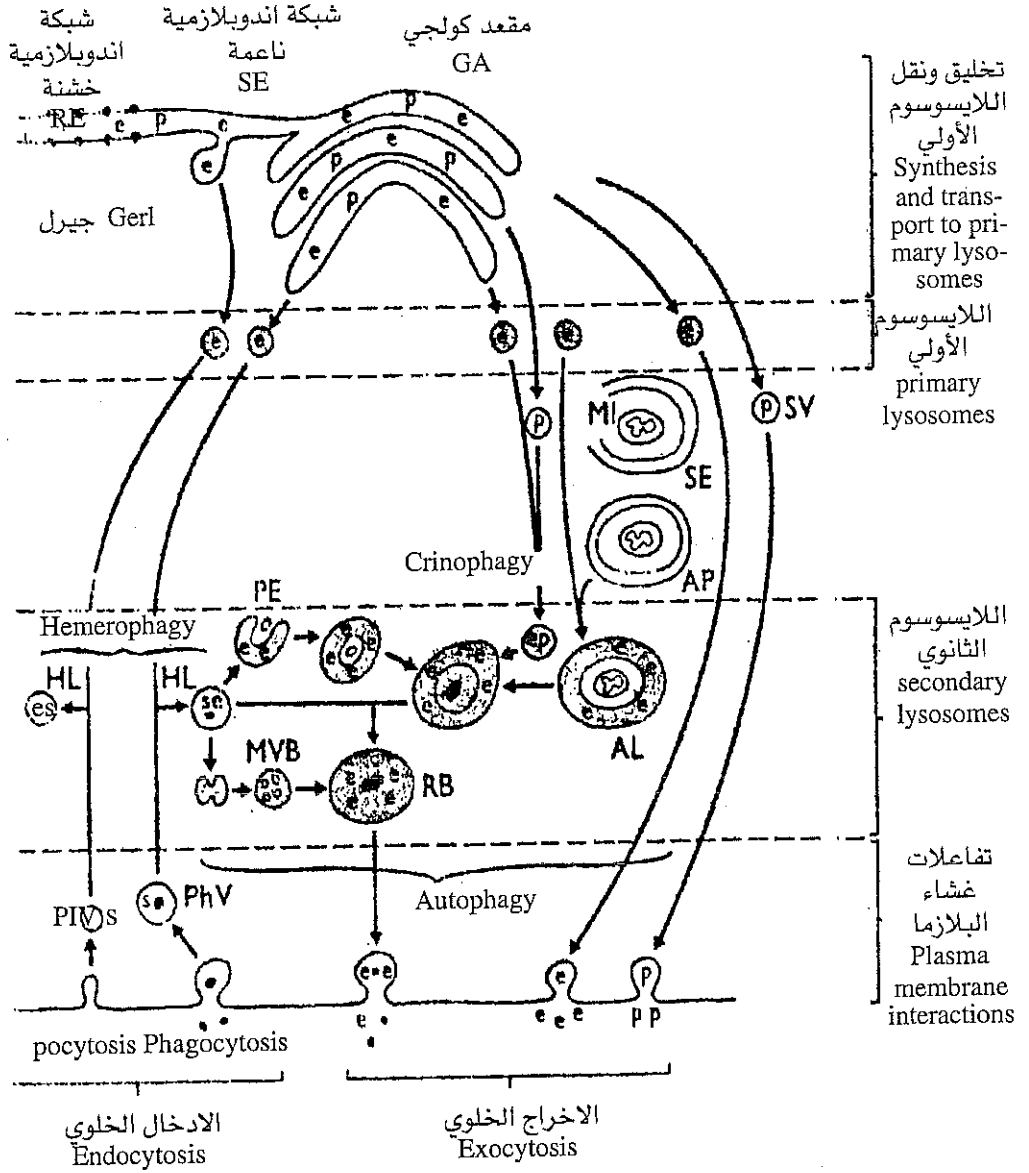
يتحول اللايسوسوم الأولي إلى لايسوسوم ثانوي فعال - أيضاً - من خلال عملية الالتهام الخلوي Autophagy التي تقوم من خلالها الشبكة الأندوبلازمية أو غشاء البلازما أو المايٲوكونډريا بتكوين فجوات أو حويصلات تحوي مواد سايتوبلازمية، يتم اتحادها مع اللايسوسوم الأولي لتكوين لايسوسوم ثانوي يدعى « لايسوسوم ذاتي Autolysosome » تمييزاً له عن « اللايسوسوم المتغاير Hetrolysosome » المتكون من عملية « الإدخال الخلوي Endocytosis ».

يتحول اللايسوسوم إلى ثانوي فعال - أيضاً - عندما يقوم بتحليل بعض المواد التي تتفذ داخله من خلال عملية « التنافذ Permeation ».

يعمل اللايسوسوم الفعال (الثانوي) على تحليل جميع المواد غير الخلوية الموجودة داخله التي تم امتصاصها من خلال إحدى الطرق الأربع التي تم ذكرها « الالتهام الخلوي، والشرب الخلوي، والالتهام الذاتي، والتنافذ »، (ويسمى في هذه الحالة فجوة الالتهام الخلوي Phagosomes)، ثم يقوم بطرح المواد غير المهضومة أو غير المتحللة بعملية « الإخراج الخلوي Exocytosis » التي تتم من خلال اتحاد اللايسوسوم مع الغشاء البلازمي المحيط بالخلية وقذف محتوياته غير المتحللة إلى الخارج، مما يؤدي إلى التحول إلى لايسوسوم أولي مرة أخرى.

إن عملية تحول اللايسوسوم الأولي (pH1-2) إلى لايسوسوم ثانوي (pH 5.5) والعكس ، سيؤدي إلى جعل أنزيمات اللايسوسوم غير قابلة للتأثير على الغشاء اللايسوسومي المحيط، ولهذا ستبقى محصورة داخل اللايسوسوم.

تبقى المواد غير المتحللة - في بعض الأحيان - داخل اللايسوسوم وتتجمع، ويدعى اللايسوسوم في هذه الحالة « الجسم المتخلف Residual body »، ويتم التخلص من الجسم المتخلف عن طريق الإبراز أحياناً أو تبقى الأجسام المتخلفة داخل الخلية لفترة طويلة من الزمن وتصبح عاملاً مهماً في تقدم عمر الخلية. ويبين الجدول (2-8) نماذج من المواد المحتمل تجمعها داخل اللايسوسوم.



شكل (5-8) الأصل التكويني لللايسوسوم

آلية النفاذ	المواد المتجمعة
الالتهام الخلوي	الحديد، السليكا، الاسبستوس، جزيئات غير قابلة للهضم في بعض الأحياء المجهرية.
الشرب الخلوي	سكروز، مانيتول، بضع الأصباغ، سكريات متعدد مخاطية، بوليمرات صناعية.
الالتهام الذاتي	مواد سايتوبلازمية غير قابلة للهضم.
التنافس	بروتونات، قواعد ضعيفة، بعض الأصباغ، عقاقير، بعض المواد السرطانية.

جدول (8-2): نماذج من المواد المحتمل تجمعها داخل اللايسوسوم وطرق نفاذها إليه.

يحتوي بعض الأجسام الحالة المسماة « فجوات الهضم الذاتي autophagosomes » على جزء من مكونات الخلية (كالشبكة الأندوبلازمية والميتوكوندريا) أثناء عملية الهضم، وهي حالة طبيعية تحدث أثناء نمو الخلية أو إصلاحها، فتكثر هذه الأجسام الحالة أثناء عملية تعديل العظام بشكلها النهائي أو عند اختفاء ذنب أجنة البرمائيات.

الأمراض اللايسوسومية

إن تجمع العديد من المواد غير المتحللة في اللايسوسوم سيؤدي - أحيانا - إلى تسرب بعض الأنزيمات المحللة للبروتينات Proteinases أو المحللة للحوامض النووية nucleases أو المحللة للشحوم Lipases أو غيرها من اللايسوسومات مما يؤدي إلى تغير تدريجي أو فجائي في عمل الخلية، مما يؤدي إلى تحولها إلى خلية سرطانية - أحيانا - أو يفقدها بعض وظائفها المهمة - في أحيان أخرى -، كما أن تسرب أو فقدان أنزيم لايسوسومي معين من اللايسوسوم سيؤدي إلى تجمع « مادته الأساس » داخل اللايسوسوم، مما يؤدي إلى الإصابة بمرض معين، ففي حالة « مرض نيمن - بك Niemann - Pick disease » يتجمع أحد أنواع الشحوم sphingolipids داخل لايسوسومات خلايا المخ والطحال والكبد « نتيجة فقدان الأنزيم المحلل له » Sphingomyelinase مما يؤدي إلى

تخلف عقلي للطفل وموته في سن مبكرة، وفي مرض تاي ساك Tay-sachs disease «الناتج من تجمع Ganglioside GM2 في لايسوسومات خلايا المخ والطحال نتيجة فقدان الأنزيم N-acetylhexos aminidase» يحدث تدهور مستمر في الجهاز العصبي للطفل مسبباً تخلف عقلي له يليه فقدان بصر والوفاة قبل الثالثة من العمر، ورغم ندرة المرضى (طفل في كل 300.000) فإنه منتشر بين أطفال يهود الولايات المتحدة (طفل لكل 300) وأوروبا الغربية (طفل لكل 3.600) . اما بالنسبة للمرض المسمى « تناذر هولر Hurler's syndrome » الحادث نتيجة فقدان أنزيم Iduronidase- المسبب لتحلل السكريات المعقدة المخاطية Mucopolysaccharides فإنه يؤدي إلى تشوه عظام الوجه وتجمع جلد الطفل اضافة إلى تخلفه العقلي وفقدان بصره وموته قبل الثانية من العمر». وأما مرض خلايا نوع I-cell disease (I)، فإنه يتسبب من فقدان 8 - 15 نوع من الأنزيمات المسؤولة عن تحلل أنواع مختلفة من الشحوم السكرية Glycolipids، وتوجد في الأنزيمات - في الواقع - في الدم والبول بدلاً من كونها محفوظة داخل لايسوسوم الخلايا، وبمعنى آخر، فإن هذه الأنزيمات توجد في موقع خاطئ في الجسم، ويؤدي المرض إلى تشوه العظام وتخلف عقلي والموت في سن مبكرة .

تدعى جميع هذه الأمراض وغيرها، الأمراض اللايسوسومية diseases Lysosomal، لأنها ناتجة من فقدان أحد أنزيمات اللايسوسومات مما يؤدي إلى تجمع المادة الأساس فيها وانتفاخها - أحياناً - إلى حد عرقلة عمل بقية الخلية، وجميعها ناتجة من خلل جيني في إحدى الكروموسومات الجسمية، ويحاول العلماء حالياً علاج هذه الأمراض عن طريق حقن المريض بأنزيم ملائم، ولكن هناك صعوبات عديدة تعترض ذلك، أهمها:

- 1- يجب كون الأنزيم مناسباً ولا يعرقل عمل جهاز المناعة الطبيعي في الجسم .
- 2- يجب إدخاله بطريقة معينة ليستطيع النفوذ إلى داخل لايسوسوم الخلية المتضرر.
- 3- قد يكون في الإمكان صنع جين ينتج هذا الأنزيم، والذي يمكن وضعه في مكان معين من الكروموسوم من خلال الهندسة الوراثية.

وظائف اللايسوسوم

هناك وظائف عدة لللايسوسوم منها أنها:

- 1- تساعد في عملية الدفاع عن الجسم عن طريق قيامها بهضم وتحليل الجزيئات الغريبة كالبكتيريا والفيروسات التي تبتلعها كريات الدم البيضاء الغنية باللايسوسومات، فضلاً عن تحليلها كريات الدم الحمراء المسنة.
- 2- تفرز اللايسوسومات الموجودة بكميات كبيرة في معظم خلايا الجهاز الهضمي أنزيمات محللة للمواد الغذائية في حيوانات متعددة الخلايا.
- 3- تنظم اللايسوسومات فعالية الخلية من خلال تحليلها بروتينات الخلية الناتجة عن عضيات أخرى (ومنها الأنزيمات والهرمونات).
- 4- تفرز لايسوسومات الخلية الحيوانية بعد بدء عملية موت الخلية الحيوانية أنزيمات تساعد على سرعة تحليل خلية الحيوانية، وقد أثبتت التجارب المختبرية أن اللايسوسومات ليست « عضيات انتحارية ». ولا تبدأ عملية موت الخلية، وإنما تساعد على تحللها بعد بدء عملية موت الخلية بفترة زمنية محددة، كما تحلل أنزيمات اللايسوسومات أجزاء الخلايا المتحطمة داخل الجسم إلى مكوناتها الأولية - كخلايا الجلد، أو خلايا العظام المتحطمة.
- 5- تقوم لايسوسومات بعض الخلايا بإفراز أنزيماتها خارج الخلية مما يؤدي إلى قتل بعض الأحياء المجهرية أو تحليل مواد غذائية أو غير غذائية مختلفة .
- 6- تفرز اللايسوسومات داخل الحيمن أنزيمات لتحليل جزء من جدار البيضة مما يمكنه من اختراقها، كما تقوم أنزيمات اللايسوسومات المفترزة بتحليل المح داخل البيضة لتمكين الجنين من امتصاصه.

2- الماييتوكوندريا « بيوت الطاقة » Mitochondrai

تعد الماييتوكوندريا أهم عضيات الخلية الحية - بعد النواة - لكونها المسؤولة عن أكسدة الغذاء وتحرر الطاقة اللازمة للعمليات الخلوية المختلفة، وقد اكتشفها عالم التشريح السويسري البرت كوليكير Albert Kolliker وسماها « كوندريوسومات Chondriosomes »

ولكن العالم بندا Banda سماها « مايتوكوندرية » وهي كلمة مشتقة من كلمتين اغريقيتين Mitos « بمعنى خيط chondrion » و بمعنى حبيبات خيطية » وتمت معرفة وظائف هذه العضيات في أكسدة الغذاء تفصيلاً ما بين 1910 - 1960، لهذا تسمى أحياناً «بيوت الطاقة Power Houses»

أعداد وأشكال الماييتوكوندرية :

يتراوح عدد ماييتوكوندرية الخلايا ما بين واحدة فقط في الطحلب الاخضر Microsterias وعدة مئات الألوف في الأميبا العملاقة Chaos chaos، وقد تنعدم في بعض الخلايا مثل كريات الدم الحمراء ووحدات الأنبوب الغريالي sieve tube elements (جدول 3-8)، وتحتوي خلايا النبات أعداداً من الماييتوكوندرية أقل مقارنة بالخلايا الحيوانية المشابهة لها في الحجم، ويتباين توزيع الماييتوكوندرية في سايتوبلازم الخلية بمقدار حاجة الخلية إلى الطاقة، فتتجمع مثلاً في أطراف زغابات الخلايا المعوية الماصة، وحول الأجسام المركزية في أثناء انقسام الخلية، ويوجد ماييتوكوندريون واحد أو أكثر في قاعدة

جدول (3-8) عدد الماييتوكوندرية في بعض الكائنات الحية

نوع الخلية	عدد الماييتوكوندرية
الطحلب الأخضر Microsterias	1
سبور الفطر Blastocladiella	1
الحيمن	20 - 30
خلايا الكلية	300 - 900
خلايا الكبد	800 - 1000
بيوض الحيوان الشوكي Strongylocontous	2500
الأميبا العملاقة Chaos chaos	500.000
الخلية النموذجية	1000

كل سوط أو هذب تحت الجسم القاعدي، وتتجمع - كذلك - حول القطرات الدهنية في خلايا الكبد الصائمة والمحتاجة للغذاء، كما يزداد عددها في الخلايا الفتية مقارنة بالخلايا البالغة، بينما تقل تدريجياً إلى درجة كبيرة في الخلايا البالغة دور الشيخوخة.

تتخذ الماييتوكوندرية أشكالاً مختلفة في الخلايا المختلفة، فيمكن عدّها متعددة الأشكال Polymorphic، حيث يتراوح شكلها ما بين حبيبات صغيرة يتراوح قطرها ما بين 0.2-3 مايكروميتر، أو قضباناً قصيرة يتراوح طولها ما بين 8 - 12 مايكروميتر، وقد تأخذ أشكالاً معقدة فتبدو شبيهة بالشباك Nets أو الحلقات أو حبات المسبحة أو الهراوات أو مضارب التنس، وأشكالاً بيضوية وكأسيّة ومقعرّة الجانبين، ويحدث التبدل في هيئة الماييتوكوندرية خلال ثوان معدودة. وقد لوحظ- في خلايا الكبد- تغير شكل الماييتوكوندرية 20 - 25 مرة خلال 10 دقائق، حيث تتجمع الحبيبات لتكون قضباناً، وتجزأ القضبان لتكون حبيبات، أو يتحد قضيب بحبيبات ليكون أشكالاً معقدة وهكذا، ويعزى سبب تعددية أشكال الماييتوكوندرية إلى حدوث تغير في:

1- درجة الأس الهيدروجيني PH للخلية .

2- الضغط التناظري.

3- فعالية الخلية الوظيفية .

4- حركة سايتوبلازم الخلية.

تركيب الماييتوكوندرية:

يحيط بالمايتوكوندرية غلاف مؤلف من غشائين، أحدهما خارجي Outer membrane أملس لا يحتوي على انبعاجات يسهل النفاذية للجزيئات التي لا يتجاوز وزنها الجزيئي 5000 (وهذا يضم معظم جزيئات الغذاء مما لا يمكن عده اختياري النفاذية)، والآخر داخلي Inner membrane اختياري النفاذية (لا يسمح إلا للجزيئات التي يتراوح وزنها الجزيئي بين 100 - 500) يحيط بفرغ « الردهة الداخلية Inner chamber » التي تكون مملوءة بمادة كثيفة غروية لزجة تسمى « الحشوة Matrix »،

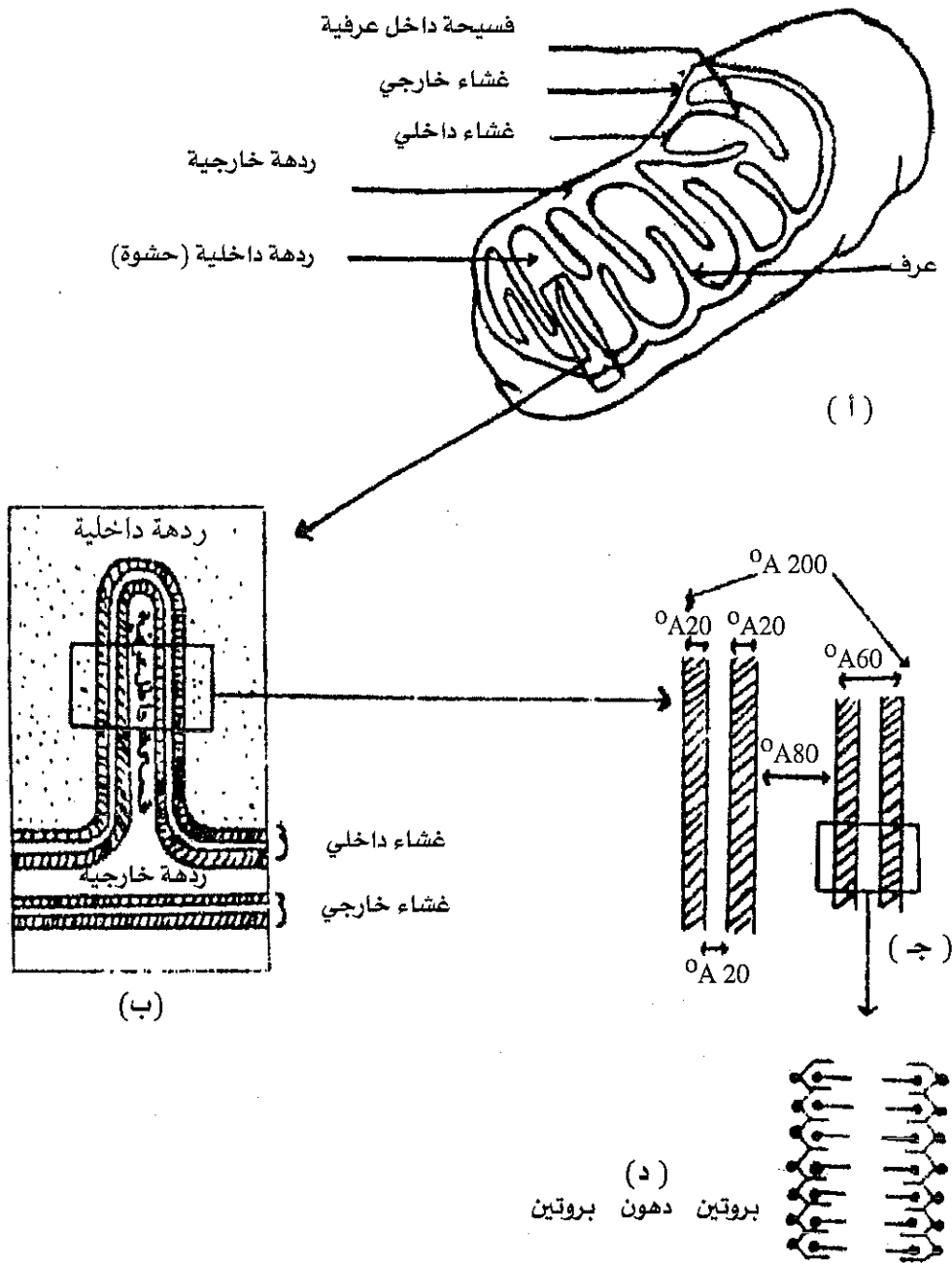
ويتميز الغشاء الداخلي بوجود انتشاءات كثيرة فيه تمتد إلى داخل الحشوة تسمى «الأعراف Cristae».

يفصل الغشاءين الخارجي والداخلي فسحة أو فراغ تسمى «الردهة الخارجية Outer chamber» (شكل 5-8).

يتراوح سمك كل غشاء ما بين 3.5 - 6 نانوميتر، وإن كان الغشاء الداخلي أقل سمكاً من الغشاء الخارجي بحوالي 1 - 2.5 نانوميتر، ويشابه كلاهما الغشاء البلازمي من حيث التركيب، حيث يتكون كل منها من طبقتين من البروتين سمك كل منهما 1.5-1.7 نانوميتر، تفصل بينهما طبقة شحمية سمكها 2-3 نانوميتر، وإن كانت نسبة الشحوم في الغشاء الخارجي ضعف نسبتها في الغشاء الداخلي، كما يتقارب الغشاءان الخارجي والداخلي ويتصلان فيما بينهما بألياف وأنابيبات بروتينية.

يبلغ عرض الردهة الخارجية 4-7 نانوميترات، وتسمى أحياناً «الفسحة بين الغشائية Intramembrane space»، وتمتد هذه الفسحة أو الردهة إلى داخل الأعراف فتسمى «الفسحة داخل عرقية Intraspase Cristal» ويقدر عرضها ما بين 4-8 نانوميتر.

يتراوح قطر الحشوة ما بين 40 - 50 نانوميتر، وإن كانت كمية المادة الغروية اللزجة البروتينية فيها تعتمد على عدد الأعراف، فقد تشكل مادة الحشوة 50% من كمية البروتين الكلي للمايتوكوندريا، وقد لا تمثل أكثر من 15% من كمية البروتين الكلي (كما في مايتوكوندريا خلايا الغلب الغنية بالأعراف)، كما تحوي الحشوة على معظم الأنزيمات الموجودة في المايتوكوندريا، فضلاً عن عدد الحبيبات واللييفات، كما تحوي على الحامض النووي معدوم الاوكسجين mtDNA والحامض الرايبوزي RNA بأنواعه الثلاثة وعدد من الريبوسومات.



شكل (5-8) : التركيب البنائي للمايتوكوندرية
 (أ) صورة تخطيطية للمايتوكوندرية (ب) عرف مايتوكوندرية مكبر
 (ج) غشاء المايتوكوندرية (د) التركيب الكيميائي للغشاء

الأعراف Cristae:

تُعدّ الأعراف طيات أو انتشاءات الغشاء الداخلي التي تعمل على زيادة المساحة السطحية المخصصة للعمليات الحيوية الجارية داخل الماييتوكوندریا، وقد وجد - حسب بعض الأبحاث- أن المساحة المحيطية لغشاء الماييتوكوندریا الداخلي هي أكبر بنحو عشر مرات من المساحة المحيطية لغشاء الخلية البلازمي.

تحدد الفعالية الوظيفية عدد وطبيعة أشكال الأعراف الماييتوكوندرية، فهما - على هذا الأساس - صفتان مميزتان لماييتوكوندریا خلية معينة، فكلما ازدادت كمية الطاقة التي تبذلها الخلية كلما ازداد عدد الأعراف في الماييتوكوندریا، فهناك عدد هائل من الأعراف في ماييتوكوندریا عضلات قلب اللبائن وعضلات الطيران في الحشرات وفي ماييتوكوندریا الحيامن، بينما يقل عدد الأعراف في ما يتوكوندریا خلايا القصبة الهوائية أو خلايا البشرة، وقد يصل عددها إلى عرف واحد في ماييتوكوندریا الديدان الطفيلية، وأحياناً تنعدم الأعراف نهائياً.

تشكل الأعراف - أحياناً - حواجز حقيقية تفصل مادة الحشوة إلى أجزاء، إلا أن هذه الحواجز تعد حواجز مؤقتة مهما استغرقت مدة تكوينها وذلك لتغير شكل الماييتوكوندریا المستمر.

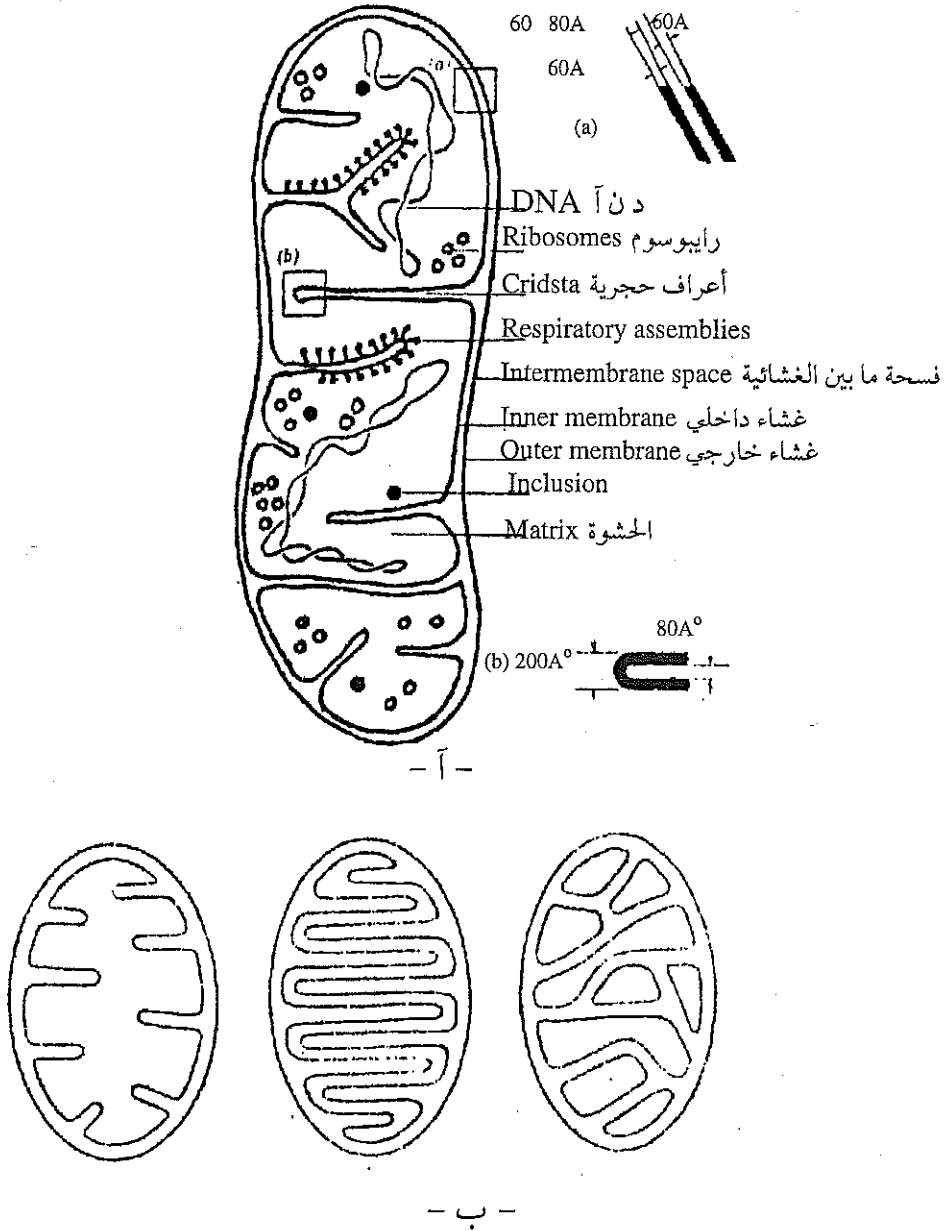
يمكن تقسيم الأعراف إلى نوعين رئيسين، يمكن تقسيم كل منهما إلى عدة أنواع :

1- الأعراف الحاجزية Septate Cristae

هي أعراف نموذجية، تكون ذات حواجز متوازية الجوانب، والحاجز عبارة عن وحدتي غشاء تفصل بفسحة متباينة العرض تمثل الفسحة داخل عرقية، ويمكن تقسيم هذه الأعراف إلى: أعراف محيطية، وأعراف ذات ثقب، وأعراف طولية، وأعراف عديدة الثقوب (شكل 6-8)، كما هو الحال في خلايا عضلات الطيران للحشرات وخلايا كبـد الفأر.

ب- الأعراف الأنبوبية (الزغبية) Tubular (Villous) cristae

تبدو هذه الأعراف كزغابات ضيقة ذات جوانب متوازية ورؤوس مستديرة، وتتقاطع وتتشابك بنمط معقد، وان كانت توجد بصورة متوازية أحياناً، ويمكن تقسيمها إلى أعراف كيسية حويصلية ومتعرجة ومتوازية وشبكية وغيرها، (شكل 6-8).



شكل (6-8) : مخطط يوضح التركيب العام للميتوكوندريا (أ)

وأنواع من الأعراف الموجودة داخلها (ب)

تكاثر الماييتوكوندریا

لا توجد طريقة واضحة ثابتة لزيادة عدد الماييتوكوندریا في الخلية، ولكن تظهر أعداد جديدة من الماييتوكوندریا كل 20 يوماً - في الظروف الاعتيادية - ودون أن يرتبط تكاثر الماييتوكوندریا بتكاثر الخلية، ويعتقد أغلب العلماء أن للماييتوكوندریا ثلاثة أساليب للتكاثر هي:

1- الانقسام الثنائي Binnary Fission

لاحظ الباحثون من خلال المجهر الضوئي والألكتروني هذا النوع من الانقسام، إذ تبدو الماييتوكوندریا بالاستطالة طويلاً ويتكون تخرصر في الوسط، ثم تنشط الماييتوكوندریا إلى ماييتوكوندریتين، ويتم الانقسام في جميع مراحل الخلية، رغم أن أحداً من الباحثين لم يستطع مشاهدة انقسام أية عضية سايتوبلازمية في أثناء مرحلة الانقسام مما يمنع مشاهدة أي نوع من مكونات الخلية (عدا الكروموسومات والأجسام القطبية وألياف المغزل)، وبالرغم من أنه لوحظت أعداد كبيرة من الماييتوكوندریا ملتصقة بألياف المغزل وحول الأجسام القطبية (أو حول القطبين في حالة الخلية النباتية)، ولكن لم يتم مشاهدة زيادة في عدد هذه الماييتوكوندریا المتجمعة.

2- النشوء من عضيات الخلية الأخرى

استطاع العالمان رودن وويلكي D.B.Roodyn & D. Wilkie الحصول على صور المجهر الألكتروني تثبت إمكانية نشوء الماييتوكوندریا من الشبكة الأندوبلازمية أو الغشاء البلازمي أو الغلاف النووي بطريقة تشبه طريقة « التبرعم ».

3- النشوء من جزيئات كبيرة في السايتوبلازم

تحتوي الماييتوكوندریا على (دن أ) و رايبوسومات وأنزيمات معقدة، ولهذا فلا بد من توفر جميع المواد في السايتوبلازم في موضع معين يسمى « مستودع الجزيئات الكبيرة » Macromolecules pool بحيث تستطيع الماييتوكوندریا التكون بسرعة عند حاجة الخلية إليها.

وظائف الماييتوكوندرية

تقوم الخلية بالحصول على حاجتها من الطاقة الكيميائية بثلاث طرق هي :

- 1- إنتاج ATP من العصير البلازمي Cytosol بعملية التحلل السكري Glycolysis.
- 2- إنتاج ATP من الكلوروبلاست Chloroplasts في بعض خلايا النبات باستخدام الطاقة الضوئية.
- 3- إنتاج ATP من الماييتوكوندرية في جميع الخلايا الحية من خلال أكسدة عدد من المركبات.

يحتوي الغشاءان الخارجي والداخلي للماييتوكوندرية وردهتها الخارجية والداخلية على عدد كبير من الأنزيمات يقدر بـ 90 أنزيماً للقيام بوظائف الماييتوكوندرية المختلفة (جدول 4-8) التي تعد أهمها عملية (إنتاج ATP) التي يمكن تلخيصها فيما يلي:

أ- تتحلل السكريات بعملية التحلل السكري Glycolysis إلى بايروفيت Pyruvate الذي يتسطيع دخول الماييتوكوندرية، كما تتحلل الشحوم إلى حوامض دهنية وكليسرو، وتتحول الحوامض الدهنية إلى المركب استيل انزيم مساعد أ و Acetyl co. A الذي يدخل إلى الماييتوكوندرية أيضاً، بينما تياكسد الكليسرو إلى فوسفات الاسيتون ثنائية الهيدروكسيل Dihydroxy aceto phosphate التي تدخل ضمن عملية التحلل السكري. يتم تحلل البروتينات (التي لا تستخدم كمصدر للطاقة إلا في حالة الجوع) إلى حوامض أمينية تتحول إلى بايروفيت وتدخل إلى الماييتوكوندرية شكل (7-8).

جدول (5-6) : انتشار الأنزيمات في الماييتوكوندرية

Outer Membrane : الغشاء الخارجي

Cytochrome b5 سايتوكروم ب5

Cytochrome b5 reductase ماييتوكروم ريدتكتيكيس

Monoamine oxidase مونا امين اوكسيديز

Kyurenine hydroxylase كورنين هايد روكسائل

Glycerophosphatacyl transferase كليسر فوسفاتايل ترانزفيريز

Choline phospho transferase كولين فوسفو ترانز فيريز

Phospholipase A فوسفو لايبيز

Intermembrane Space: الفسحة بين الغشائية

Adenylate Kinase ادنليت كاينيز

Nucleoside diphosphokinase نيوكليوسيد داي فوسفو كاينيز

Sulfite oxidase أنزيم أوكسيد الكبريت

Inner membrane: الغشاء الداخلي

Cytochrome B, Cl, C, a, a₃ سايتكروم، س₁، س₂، أ₃

Nadh dehydrogenase ن أ د ج هايدرو جينيز

Succinate dehydrogenase سكسينيت هايدرو جينيز

Ubiquinone اوبي كوانون

Electron - transferring flavoprotein البروتين الفولفي المتقل ألكترونياً

ATPase انزيم أت ب

B- Hydroxybutyrate dehydrogenase هايدرو بيوتريت دي هايد روجينيز

carnitine - palmityl trnsferease كارنثين بالمبيت ترانز فيريز

Matrix: الحشوة

Pyruvate dehydrogenase بيروفيت دي هايدرو جينيز

Citrate synthase ستريت سنثيز

Aconitase اوكتيز

Isocitrate dehydrogenase ايسو ستريت دي هايدرو جينيز

Fumarase فيوميريز

Alfa Ketaglutarate dehydrogenase الفا - كيتو كتاريت دي هايدرو جينيز

Malate dehydrogenase ماليت دي هايدرو جينيز

Fatty acid oxidation نظام أكسدة الحوامض الدهنية

Glutamate dehydrogenase كلوتاميت دي هايد روجينيز

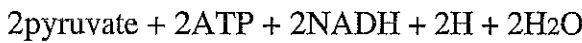
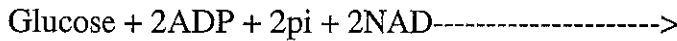
Asparate - glutamate aminotransferease اسباريت - كلوتاميت امينو ترانز فيريز

Ornithine transcarbomylase اورنثين ترانز كاريوليز

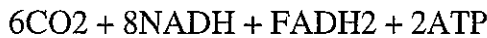
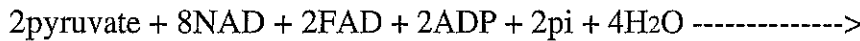
ب- تحدث تفاعلات التأكسد والفسفرة Oxidative & phosphorylation في الغشاء الداخلي والحشوة، وتعد دورة حامض الستريك أو دورة كريس Citric acid krebs cycle أو أولى مراحل الأكسدة، وفيها تتحلل المركبات إلى ثاني أكسيد الكربون وماء $NADH+H$ ، من NAD ، ويتكون $FADH_2$ من FAD ، وكذلك يتكون ATP بكمية قليلة.

ج- تتكون أكبر كمية من جزيئات ATP بعملية «الفسفرة المؤكسدة» Oxidative "Phosphnylation" التي يتم فيها تكون جزيئة ATP كلما تمت عملية نقل زوجين من الإلكترونات $NADH + H$ وتكون جزيئتي ATP من عملية نقل الإلكترونات $FADH_2$ ، ويقوم بعملية نقل الإلكترونات نظام معقد داخل الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا يدعى «نظام نقل الإلكترونات Electron Transport System» (شكل 8-8) وفيما يأتي المعادلات التي تلخص هذه العمليات:

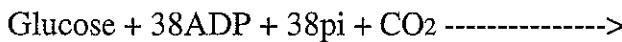
1- التحلل السكري



2- دورة حامض الستريك



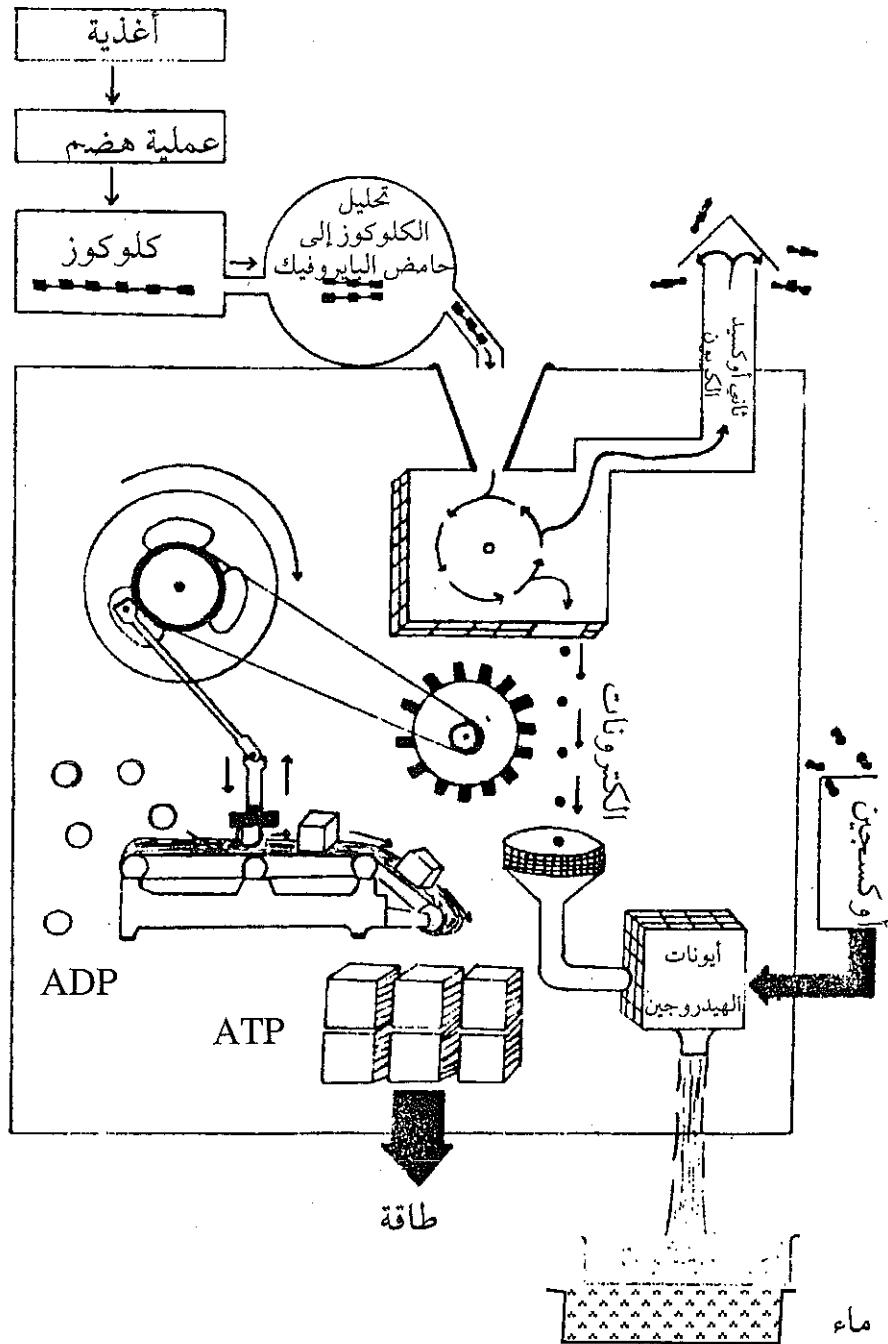
3- عمليات الفسفرة التأكسدية



هناك وظائف أخرى للمايتوكوندريا أهمها:

1- دورة كلايوكسيليت The Glyoxylate Cycle

توجد معظم أنزيمات هذه الدورة - التي تعد دورة محورة لدورة حامض الستريك - في المايتوكوندريا، وقد تم وصفها في موضوع «الأجسام الدقيقة».



شكل (8-8) : رسم تخطيطي لتوضيح وظائف المايتركوندرية

2- أكسدة الحوامض الدهنية

توجد الحوامض الدهنية الحرة نادراً في الخلية وذلك لسميتها العالية، ويتم نقلها مباشرة من الساييتوبلازم - إذا وجدت أحياناً - إلى حشوة الماييتوكونديريا لتتم أكسدتها هناك.

3- تطويل الحوامض الدهنية

يتم تكوين الحوامض الدهنية في الشبكة الأندوبلازمية الناعمة، التي تقوم بتطويلها بإضافة Malonyl Co.A إليها غالباً، ولكن توجد بعض الأنزيمات في الماييتوكونديريا التي تساعد على تطويل بعض الحوامض الدهنية المشبعة مثل حامض البالميتك Palmitic acid من خلال إضافة Acetyl Co.A إلى نهايته الكاربوكسيلية.

4- حماية الخلية

تتكون نواتج سامة في أثناء عملية نقل الألكترونات داخل الماييتوكونديريا، أهمها سوبر أوكسايدير (O_2)، مما يضطر الماييتوكونديريا إلى تكوين أنزيم Superoxider dimutase الذي يحلل O_2 إلى بيروكسيد الهيدروجين السام، والذي يتحلل بدوره بأنزيم تكونه Catalase الماييتوكونديريا - أيضاً - إلى جزيئات أوكسجين وماء، ولكن تتم معظم هذه العمليات داخل الأجسام الدقيقة وليس داخل الماييتوكونديريا (لسمية هذه المواد) - انظر موضوع الأجسام الدقيقة.

3- البلاستيدات Plastids

عضيات ساييتوبلازمية حية كبيرة الحجم واضحة المعالم بالمجهر الضوئي، توجد في ساييتوبلازم الخلايا النباتية والطحلبية (عدا الخلايا الحيوانية والبكتيرية والفطرية) . لها القدرة على الانقسام والنمو دون الارتباط بعملية انقسام الخلية الموجودة فيها هذه البلاستيدات. وتكون البلاستيدات صغيرة وغير مميزة في الخلايا المرستيمية غير الناضجة (الفتية)، وتسمى البلاستيدات الأولية Proplastids التي قد تنشأ أيضاً من انقسام البلاستيدة الخضراء إلى بلاستيدتين أوليتين، ويختلف عدد البلاستيدات في

الخلية الواحدة باختلاف نوعها، فقد تحوي الخلية الواحدة بلاستيدة واحدة أو اثنتين فقط كما في خلايا بعض الطحالب والنباتات الواطئة أو تحوي 50 - 100 بلاستيدة كما في حالة خلايا النباتات الراقية وتختلف البلاستيدات عن بعضها من حيث الشكل والتركيب والوظيفة رغم أن الشكل الكروي أو البيضوي هو السائد، ويتراوح معدل طولها ما بين 1 - 10 مايكروميتر ويتغير بتغير نوع النبات والعوامل البيئية كالضوء، وتقسم البلاستيدات على أساس وجود أو غياب بعض الصبغات إلى بلاستيدات عديمة الصبغات تسمى البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts، وبلاستيدات ذات صبغات تسمى البلاستيدات الملونة Chromoplaste، وتعد البلاستيدات الخضر Chloroplasts أهم البلاستيدات الملونة التي تحتوي على صبغة الكلوروفيل ذات اللون الأخضر بصورة أساسية وتحمل البلاستيدات الملونة الأخرى صبغات أخرى غير الخضر، وقد عد بعض البايولوجيين أن البلاستيدات الملونة تضم جميع البلاستيدات الحاوية على صبغات مختلفة عدا الخضر، أما البلاستيدات الخضر فقد وضعت مجموعة منفصلة لا تدخل ضمن مجموعة البلاستيدات يمكنها التحول من نوع إلى آخر حسب الظروف المحيطة، فالبلاستيدات الخضر في الأزهار والثمار الصغيرة تتحول إلى بلاستيدات ملونة في الأزهار المكتملة النمو والثمار الناضجة كما يحدث في الطماطم، كما أن البلاستيدات العديمة اللون تتحول إلى بلاستيدات خضر عند تعرضها لضوء الشمس كما في حالة درنات البطاطا.

البلاستيدات عديمة اللون Leucoplasts

وتضم مجموعة كبيرة من البلاستيدات عديمة الصبغات توجد في الخلايا البعيدة عن ضوء الشمس مثل درنات البطاطا أو البذور أو الجذور أو خلايا اللب pith وقد توجد في خلايا الطبقة الخارجية (البشرة) للأوراق، ووظيفتها الأساسية هي تخزين حبيبات النشا (Starch grains)، وتوجد عدة أشكال أو صور من هذه البلاستيدات لأنها متغيرة وذات قدرة عالية على التمدد والمطاطية، وقد تتحول هذه البلاستيدات عديمة اللون من صورة لأخرى حسب نشاط الأنزيمات ونوعها، وأهم الصور التي تكون عليها هذه البلاستيدات ما يأتي:

أ- البلاستيدات الأولية Proplastids

وتتضمن البلاستيدات الموجودة في الخلايا المرستيمية الناتجة عن الانقسام وفي الأطوار الأولى (الفتية) قبل النضج، وعند تعرضها لضوء الشمس تتحول إلى بلاستيدات خضر.

ب- البلاستيدات البيض أو الشاحبة Etioplasts

وهي البلاستيدات المحرومة من ضوء الشمس حيث تختفي صبغة الكلوروفيل من البلاستيدات الخضر في الأجزاء المخفية عن ضوء الشمس وتصبح البلاستيدة عديمة اللون.

ج- البلاستيدات الخازنة للنشا Amyloplasts

تعمل هذه البلاستيدات على تحويل السكر إلى نشأ ثم خزنها داخلها ويسمى النشا المخزون Reserve starch ويكون ذا حبيبات كبيرة الحجم قليلة العدد خلافا للنشا المنقول المتكون في البلاستيدات الخضر ذات الحبيبات صغيرة الحجم وكثيرة العدد الذي يتحول في ظروف الظلام إلى سكريات تنتقل إلى أنسجة النبات الأخرى وتحوي هذه البلاستيدات أنزيمات تقوم بتحويل سكر الكلوكوز البسيط إلى نشأ بشكل أنزيمات تقوم بتحويل سكر الكلوكوز البسيط إلى نشأ بشكل حبيبات صغيرة تكبر بعد ذلك بإضافة طبقات جديدة ينتج عنها انتفاخ البلاستيدة عديمة اللون وتنفجر في النهاية .

د- البلاستيدات الخازنة للدهون Elaioplasts

وهي بلاستيدات تقوم بتخزين المواد الشحمية Lipoidal materials كالقطرات الدهنية والزيتية، وقد تتكون بداخلها بعض الحبيبات النشوية أيضاً.

هـ- البلاستيدات الخارقة للبروتين Proteinoplasts

وقد تسمى بلاستيدات الأليرون (Aleuroneplasts) وتقوم بتخزين المواد البروتينية على شكل حبيبات البروتينية .

2- البلاستيدات الملونة Chromoplasts

وتتضمن مجاميع من البلاستيدات ذات ألوان مختلفة عدا اللون الأخضر وتحتوي في

تركيبها الصبغات الكاروتينية Carotenoids بتراكيز مختلفة وهي المسؤولة عن اللون الأصفر والبرتقالي والأحمر للأزهار والثمار والجذور وتوجد هذه الصبغات على شكل بلورات شريطية أو صفائحية أو حلزونية كما في حالة لون ثمار الجزر والطماطم أو على شكل حبيبات كما في حالة بتلات بعض الأزهار، أو على شكل حزم من الخيوط كما في حالة ثمار الفلفل. ويختلف شكل البلاستيدات الملونة تبعاً لاختلاف شكل الصبغات فمنها القرصي والكروي والعصوي والشريطي والخيطي والحلزوني والمضلع... الخ وتمتاز البلاستيدات الملونة بقدرتها على التمدد تبعاً لوضع الصبغات التي قد تتبلور بداخلها.

ويعتقد بأن وظيفة البلاستيدات الملونة هو اجتذاب الحشرات إلى الأزهار لتسهيل عملية تلقيحها، وقد يكون لها دور في تنشيط عملية التركيب الضوئي كما في حالة: حوامل الألوان Chromatophores في البكتيريا، وحوامل الألوان الأخضر الزرق، والبلاستيدات الحمر Rhodoplasts والبلاستيدات البنية Pheoplasts.

3- البلاستيدات الخضراء Chloroplasts

- هي البلاستيدات التي تحتوي في تركيبها صبغات الكلوروفيل Chlorophyll ذات اللون الأخضر بشكل أساسي، وتوجد في جميع الأجزاء النباتية الخضراء، وتوجد أيضاً في الأجزاء النباتية البعيدة عن ضوء الشمس كالخلايا البارنكيميائية للأنسجة الوعائية والأجنة المحاطة بأغلفة البذور والثمار، وقد اكتشفهما أول مرة في بداية القرن السابع عشر العالمان كرو وهول (Antonie Van Leeuwenhoek & Nehemiah Grew) وتركزت الدراسات التجريبية خلال القرن الثامن عشر والتاسع عشر على عملية التركيب الضوئي، وتحولت الدراسات باتجاه تركيب البلاستيدات الخضراء بعد تطور المجهر الإلكتروني عام 1940. وأظهرت الدراسات بأن البلاستيدة الخضراء للنباتات الأرضية Land plants التي تضم الأشنات moss والسرخسيات ferns والنباتات البذرية، ذات شكل قرصي discoid أو عدسي - (شكل العدسة Lens) ويصل عددها في الخلية الواحدة إلى أكثر من (50) بلاستيدة خضراء. أما طولها فيتراوح بين 10 - 1 مايكروميتر ويكون أطول من ذلك في حالة بعض الطحالب. كما يتحكم العامل

الوراثي في حجم البلاستيدة فمثلاً تكون البلاستيدة الخضراء في الخلايا متعددة المجموعة الكروموسومية Polyploid أكبر حجماً من تلك الموجودة في الخلايا ثنائية المجموعة الكروموسومية Diploid، كما وجد بأن بلاستيدات نباتات الظل أكبر حجماً وأكثر في كمية الكلوروفيل من بلاستيدات النباتات المعرضة للشمس، ولم تلاحظ البلاستيدات الخضراء في خلايا الكائنات بدائية النواة ذات التركيب الضوئي. وتباين البلاستيدات الخضر في الطحالب من حيث الشكل والعدد وتوجد بلاستيدة واحدة أو اثنتان في خلية الطحلب ذات شكل حلزوني helical كما في السبايروجير، أو كأسية cap كما في الكلاميدوموناس، أو شريطي على صورة حزم Bands كما في Ulothrix .

تركيب البلاستيدة الخضراء

تكون البلاستيدة الخضراء قرصية الشكل - غالباً - وتتكون كما في الرسم التخطيطي شكل (8-8) الذي يبين تركيب البلاستيدة الخضراء، من جسم البلاستيدة الذي يحاط بغلاف ذي غشائين، أحدهما خارجي يفصلها عن الساييتوبلازم والآخر داخلي يتحول ليكون طيات متعددة في عدة أماكن داخل البلاستيدة الخضراء، مكوناً نظاماً خاصاً يسمى النظام الصفائحي Lamellar system. وتكون أغشية النظام الصفائحي في مناطق متعددة منفردة وتكون أكياساً غشائية قرصية الشكل Discs تسمى الصفائح Lamellae أو الثايلاكويدات Thylakoids، وعند تراكم كيسين أو أكثر من هذه الأكياس الغشائية Thylakoids بشكل طبقات على بعضها يتكون التركيب المسمى كرانيوم Granum ومجموعها يسمى كرانا Grana، ويطلق اسم Partition على الحاجز الموجود بين الأكياس، أما حافات الأكياس فتسمى Margin ويسمى الفراغ الموجود Locule، وفي حالة امتداد أحد الأكياس الغشائية في كرانيوم معين داخل حشوة البلاستيدة التي تسمى Stroma واتصالها بكيس غشائي آخر لكروانيوم آخر فإن الجزء الواصل بينهما (جزئين من الكرانا) يسمى الصفائح الحشوية Fret أو Intergrana Lamellae أو Stroma Lamellae أو Stroma thylakoid (وتم اثبات وجود النظام الصفائحي أو ما يسمى بالكرانا عام 1930 و1940 وتم تأكيد وجوده عام 1947 كيث بورتر Keith Porter وصمماوئيل كرانويك Samuel Granick) وميزت الكرانا طبقات من الأكياس الغشائية المسطحة قرصية الشكل تشبه كومة من النقود

المعدنية الموضوعة بعضها فوق بعض . وقد أطلق «منك» عام 1962 مصطلح Thylakoid على الكيس الغشائي المسطح والأنظمة التابعة له، وقد توجد بعض التداخلات والاتصالات القنوية الأخرى ذات التعقيد الأكثر ضمن نظام الكرانا أطلق عليها بعض المصطلحات الخاصة التي تدخل ضمن دراسات الاختصاص الدقيق لهذا الموضوع. ويبلغ عدد الكرانا في البلاستيدة الخضراء الواحدة حوالي 40 - 60 في النباتات الراقية، تحتوي كل منها على الكثير من الأكياس الغشائية (Thylakoid) وقد يصل عددها إلى (100) كيس رغم أن عددها أقل من ذلك في معظم الخلايا وأما في حالة بعض الطحالب فتحوي البلاستيدة الواحدة على كراتينوم واحدة ذات 2-4 كيس غشائي (يطلق على الكراتينوم اسم الحزمة Band) وتكون الأكياس مفردة في بلاستيدات الطحالب الحمراء وزوجيه في مجاميع أخرى مثل الدايتوم (Diatoms) والسوطيات الدوارة dinoflagellates واليوغلينا euglenoid، وثلاثية في الطحالب البنية .

أما الحشوة (Stroma) التي توجد فيها الأكياس الغشائية، فتكون ذات طبيعة حبيبية تكون فيها كثير من الرايبوسومات ذات قطر (15 - 20) نانوميتر فضلاً عن تجمعات ليفية من حامض د ن أ DNA المفرد الخيط يبلغ عرضها نحو نانوميترين 2nm.

التركيب الكيميائي للبلاستيدة الخضراء

تتركب أغشية الكرانا من وحدات ثانوية Subunits متكررة على السطح الداخلي لأغشية الكراتينوم (التايلاكويدات) حسب أغلب التصورات. وقد أطلق بارك Park وآخرون عام 1964 اسم الأجسام الكمية (quantosomes) على هذه الوحدات الثانوية، وعدت الوحدة الثانوية أصغر جزء قادر على انجاز تفاعلات التركيب الضوئي، وقد وجدت هذه الأجسام الكمية في الصفائح الغشائية لبلاستيدات نبات السبانخ Spainach على شكل حزم مبعثرة عشوائية، أو خيوط، أو بلورات وقد توجد جميع هذه الأشكال مرة واحدة في صفيحة غشائية واحدة thylakoid، ويبدو بأن الجسم الكمي يتكون من تراكيب ثانوية ويبدو سطحه مقسماً إلى أربع وحدات ثانوية أخرى أو أكثر، ويتتركب الجسم الكمي من جزء بروتيني مركزي محاط بجزء شحمي،

ويعتقد كثيرون بأن صبغات التركيب الضوئي تتركز فقط في أغشية الكرانا، إلا أن البعض الآخر يعتقد بأن الكلوروفيل قد يقع أيضاً في أغشية الكرانا، إلا أن البعض الآخر يعتقد بأن الكلوروفيل قد يقع أيضاً في أغشية البلاستيدة الخضراء خارج الكرانا، وأظهرت نتائج التحليل الكيماوي للبلاستيدة الخضراء في نبات السبانخ بأنها تتكون بشكل أساسي من البروتينات التي بلغت نسبتها 9% على أساس الوزن الجاف، تليها الشحوم التي تشكل 21% من الوزن الجاف، ثم الكلوروفيل (5%)، أما الـ 5% الباقية فهي عبارة عن حامضي (د ن أ) و (رن أ) وكربوهيدرات مختلفة .

نشوء البلاستيدة الخضراء

تنشأ البلاستيدة الخضراء من البلاستيدة الأولية Proplastid في أثناء عملية إنبات البذور وتحولها إلى نباتات كاملة خضراء، وتتم هذه العملية بازدياد حجم البلاستيدة الأولية مع تفوق في نمو الغشاء الداخلي على الغشاء الخارجي مما يؤدي إلى تكوين طيات أو بروزات في الغشاء الداخلي باتجاه الحشوة Stroma، وتتحصر هذه البروزات عند نهايتها السائبة مكونة حويصلات غشائية صغيرة، وينتج عن استمرار العملية تكون مجموعة من الأقراص الغشائية المسطحة الصغيرة تتراكم على بعضها البعض بشكل طبقي مكونة تجمعات كثيرة ويستمر النمو في بعض هذه الحويصلات القرصية ليكون اتصالات عرضية مع حويصلات صغيرة أخرى لتجمع آخر، تتكون نتيجة الأكياس الغشائية الكبيرة، التي تنمو وتتميز بعد ذلك إلى صفائح الكرانا في بعض الخلايا .

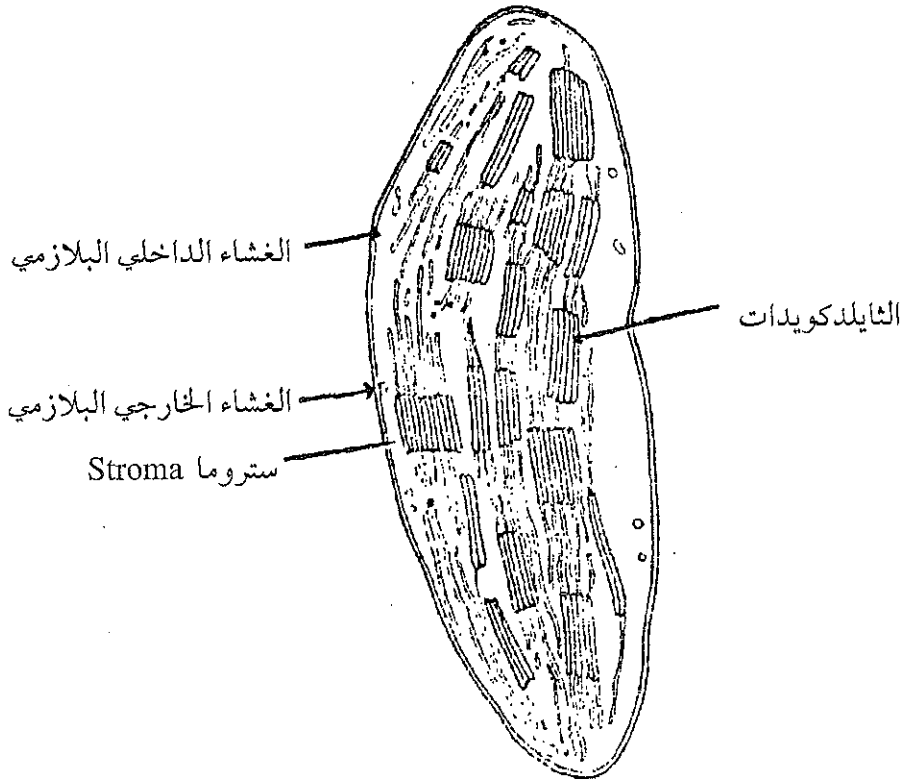
يزداد عدد البلاستيدات الخضراء بانقسامها الذي يستغرق نحو ثمانية أيام والذي ينتهي باستطالة البلاستيدة وتخصرها عند الوسط حتى يتم تكوين بلاستيدتين صغيرتين تنفصلان عن بعضهما البعض لتنمو كل منهما بعد ذلك وتكون بلاستيدتين كبيرتين . ويعتقد أن البلاستيدة الخضراء كانت خلية بدائية النواة حاوية على الصبغات، غزت خلية أخرى أو التهمت من قبل تلك الخلية، ثم قاومت عملية الهضم وتعايشت معها تعايشاً داخلياً، وتخصصت بعملية التركيب الضوئي وفقدت وظائفها الأخرى. ومما يؤيد هذا الاعتقاد هو أن د ن آ البلاستيدة يختلف عن د ن آ الموجودة في نواة الخلية، فضلاً عن وجود الرايبوسومات الخاصة داخل البلاستيدة الخضراء مما يجعلها قادرة على تصنيع البروتينات الخاصة بها .

النظام الوراثي في الماييتوكوندرية والكلوروبلاست

تحتوي كل من الماييتوكوندرية والكلوروبلاست على حامض نووي معدوم الاوكسجين (د ن آ DNA)، يطلق عليه اسم mt DNA في الماييتوكوندرية و Chl DNA في الكلوروبلاست.

يتكون د ن آ الماييتوكوندرية أو الكلوروبلاست من لولب حلزوني مزدوج مغلق يضم حوالي 15.000 نيوكليوتيد، أي ما يكفي لبناء بروتين يضم 5.000 حامض اميني، أو بناء 30 سلسلة ببتدية يقدر الوزن الجزيئي لكل منها ب 2.000 (أي 5% من مجموع بروتين الخلية).

تتم عملية استنساخ ر ن آ RNA وبناء البروتين داخل هاتين العضيتين باستعمال مجموعات مختلفة من أنزيمات البلمرة التي يستعملها د ن آ النواة، وهناك عدد من الفروق الجوهرية بين الحامضين (حامض العضيات وحامض النواة) سيتم التعرض لها تفصيلاً في الفصل الخاص بتكوين بروتين الخلية.



شكل (6-8) : البلاستيدة الخضراء

العلاقة التطورية بين البكتريا والمائتوكوندرى والبلاستيدات الخضراء

يعتقد أكثر العلماء بأن المائتوكوندرى والبلاستيدات قد نشأت من خلايا بدائية النواة تطفلت على خلايا حقيقية النواة، وقد تم التأكيد على هذه النظرية لوجود التشابه الكبير بين خلايا البكتريا وهي خلايا بدائية النواة وبين المائتوكوندرى والبلاستيدات الخضراء، ومن أوجه التشابه ما يأتي:

1- تباين البكتريا في أشكالها وأحجامها كما تفعل العضيتان (المائتوكوندرى والبلاستيدات).

2- تحيط البكتريا نفسها - كما تفعل العضيتان - بغلاف مكون من غشائين خارجي وداخلي.

3- تحتوي البكتريا رايبوسومات مشابهة من حيث التركيب للرايبوسومات الموجودة في العضيتين.

4- يتشابه شكل وتركيب د ن آ البكتريا والعضيتين، كما ينعدم الغلاف النووي فيهم.

5- تتكاثر البكتريا والعضيتان بالانقسام الثنائي البسيط.

6- تحتوي البكتريا عدداً من الأنزيمات المشابهة لانزيمات العضيتين، لاسيما الأنزيمات الموجودة في المائتوكوندرى.

7- تحتوي البكتريا مجموعة من الفيتامينات مشابهة لتلك الموجودة في العضيتين مثل حامض الفوليك Folic acid وفيتامين B1.

8- تستطيع بعض المضادات الحيوية إيقاف عملية منع البروتين داخل البكتريا، وكذلك إيقاف تكون البروتين الذي يتم صنعه داخل المائتوكوندرى والبلاستيدات الخضراء، ولكنها لا تستطيع إيقاف تكوين بروتين خلايا حقيقية النواة .

علاقة المائتوكوندرى بالبلاستيدات الخضراء

تشابه البلاستيدات الخضراء المائتوكوندرى في كثير من الصفات، فكلاهما يحاط بغلاف ثنائي الغشاء، وإن كانت طيات الغشاء الداخلي للبلاستيدة أكثر تعقيداً منه في المائتوكوندرى، كما أن لكليهما نظاماً وراثياً مستقلاً عن النظام الوراثي للنواة .

ويتكاثران بنفس طرق التكاثر التي تم ذكرها ويتشابه تركيبها الكيميائي كذلك، فكلاهما يحتوي على نسبة 50 - 60% بروتين و 25 - 35% شحوم، وكلاهما غني بالأنزيمات، ولهذا يسود الاعتقاد لدى بعض العلماء بأن البلاستيدات الأولية Proplastids نشأت من الماييتوكوندرية التي نشأت بدورها من كائن حي بدائي النواة تطفل على كائن حي حقيقي النواة.

4- الأجسام الدقيقة Microbodies أو الجسيمات البيروكسية Or Peroxisomes

تم إطلاق مصطلح (الأجسام الدقيقة) على مجموعة كبيرة من عضيات الساييتوبلازم، ثم اقتصر تدريجياً استعمال الاسم في الستينات على العضيات المحتوية أنزيمات oxidase و catalase , peroxidase ، وتكون هذه العضيات ذات شكل كروي أو بيضوي محاط بغشاء مفرد يبلغ قطرها ما بين 0.2 - 1.7 مايكروميتر. وتوجد بصورة منفردة أو بشكل كريات ثنائية متصلة من الوسط أو على هيئة مجاميع عنقودية، وتنشأ - حسب أغلب الآراء - من الشبكة الأندوبلازمية . ولأجل منع الالتباس بينها وبين الميكروسومات Microsomes التي لا تعد عضيات حقيقية وإنما شظايا مغلقة من الشبكة الأندوبلازمية (كما ورد في بداية الفصل) فإن معظم المصادر الحديثة تطلق مصطلح جسيمات بيروكسية Peroxisomes على الأجسام الدقيقة.

توجد الأجسام البيروكسية في الخلايا حقيقية النواة كافة، وتحوي على مجاميع انزيمية مختلفة - يعتمد عملها على نوع الخلية وجنسها ومرحلة نموها والظروف الفسلجية المحيطة بها، كما يعد وجودها ضرورياً لجميع الكائنات الحية - حيوانية أم نباتية - المعتمدة على التنفس الهوائي Aerobics، حيث يتم اختزال جزيئة الاوكسجين - أثناء التنفس الهوائي - إلى جزيئتي ماء من خلال قبولها أربعة إلكترونات، ولكنها تتحول - في حالة قبولها إلكترونين فقط - إلى بيروكسيد الهيدروجين السام للخلية من خلال فعالية أنزيم «سوبر أوكسايد داي ميوتيز Superoxide dimatase»، وتحمي

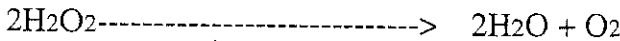
الخلية نفسها من السمية من خلال وجود أنزيم كاتالاز Catalase داخل الجسيمات البيروكسية نفسها والذي يحلل بيروكسيد الهيدروجين إلى جزيئة ماء وأوكسجين أو من خلال وجود أنزيم بيروكسيديس Peroxidase في الأجسام الدقيقة أيضاً والذي يحلل بيروكسيد الهيدروجين إلى جزيئة ماء وأوكسجين، كما في المعادلتين الآتيتين:

superoxide

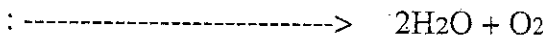


dimutase

Catalase



Peroxidase



وهكذا، فإن وجود الأنزيمات المكونة والمحللة لبيروكسيد الهيدروجين معاً داخل هذه العضيات ينجي الخلية من تأثيرها السام، علماً أن جميع هذه الأنزيمات تتكون داخل المايكوكوندريا، ثم تنتقل إلى هذه العضيات التي تتكون بالتبرعم من خلال جسيم بيروكسي قديم، وتستعمل بعض الحيوانات بيروكسيد الهيدروجين وسيلة دفاع ناجحة، فالحفصاء المدفعية Bombarder Beetle تخزن سائل مركز من بيروكسيد الهيدروجين في أحد أكياسها، وسائل مركز من الهيدروكوينون Hydrquinone في كيس آخر، وتقذف سائل كوينون Quinone (37م) الناتج من أكسدة كوينون الهيدروكوينون بواسطة بيروكسيد الهيدروجين عند الخطر.

تسمى هذه العضيات في الحيوانات «بيروكسي سوم Peroxisome» وفي النباتات «كلايوكسي سوم Glyoxysome»، وتعد العضيات النباتية أكثر فعالية من مثيلاتها الحيوانية لاحتوائها على أنزيمات فعالة أكثر، كما يتم استعمال مصطلح جسيمات بيروكسية حيوانية أو نباتية في بعض المصادر العلمية .

تحتوي كلايوكس سوم أنزيمين من أنزيمات دورة كلايوكسيليت Cyce Glyoxylate

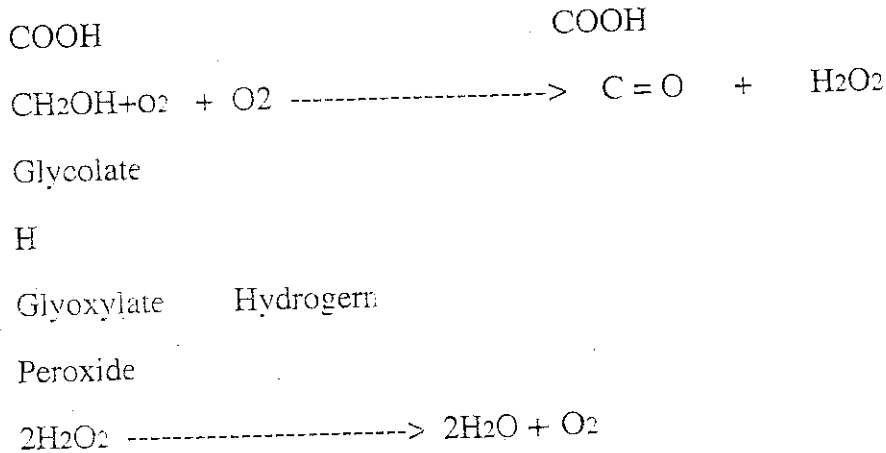
فضلاً عن وجود أنزيم Catalase فيها ولا توجد مثل هذه الدورة في الحيوان، لانعدام وجود هذين الانزيمين فيه، وتعد الدورة دورة محورة عن دورة حامض السيترك Citric Acide Cycle وتختلف عنها اختلافين مهمين هما:

1- يتم استعمال الخلـات Acetate في الدورة المحورة مصدراً للطاقة ومصدراً لإنتاج البواتج الثانوية التي ستكون الكربوهيدرات فيما بعد .

2- يتغير مسار التفاعل بين « ايسوسـتريت isocitrate » إلى « ماليت malate » في الدورة المحورة. أما الأنزيمان الموجودان في «كلايوكسي سوم» فهما:

1- أنزيم أيسوسـتريت لايز Isocitrate lyase المحلل لايسوسـتريت isocitrate الى كلايوكسليت Glyoxylate .

2- أنزيم ماليت سنتيزيز Malate Synththase الذي يحول كلايوكسليت Glyoxylate إلى ماليت Malate وتحتوي الجسيمات البيروكسية النباتية أنزيماً آخرأ يعلب دوراً مهماً في عملية التنفس الضوئي Photorespiration، وهو التنفس الحادث في الضوء بوجود عملية التركيب الضوئي، ويختلف تماماً عن تنفس المايـتوكونـدريا، وهذا الأنزيم هو «كلايكوليت أوكسيديز Cycolate oxidase» الذي يساعد في أكسدة كلايكوليت Glycolate إلى كلايكوكسـيليت Glyoxylate ومكوناً بيروكسينـد الهيدروجين ناتجاً عرضياً، يتم التخلص منه بأنزيم Catalase كما في المعادلتين الآتيتين:



أجسام مجهرية أخرى

يتم اكتشاف العديد من الأجسام المجهرية الدقيقة في خلايا الحيوان أو النبات المختلفة سنوياً، التي تختلف وظائفها وأعمالها اختلافاً كبيراً عن بعضها الآخر وحسب نوع الخلية . ولكن لا يجوز تسميتها بالأجسام الدقيقة Microbodies رغم التشابه المظهري بينهما ما لم يتم التأكد من تطابق وظائف هذه الأجسام المجهرية مع تلك التي للأجسام الدقيقة.

مراجع الفصل الثامن

- Autori , A. et al , J. Cell Biol ., 67 (1975) 687
- Bainton, D.F. et al , Trends Biochem , Acta, 8 (1983) 269
- Blobel , G. , Proc, Natl, Acad. Sci., 77 (1980) 687
- Bretscher , M. S., Science , 224 (1984) 681
- Brown , W.J. and Farquhar, M.G., Cell, 36 (1984) 295
- De Duve, C., Sci. Amer ., 242 (1983) 74
- Lingappa, V.R. et al , J. Biol Chem., 253 (1978) 8867
- Masters, C. and Crane, D., Trends Biochem . Sci., 9 (1984) 315
- Meyer , D.I., Trends Biochem . Sci., 7 (1982) 320
- Mitchell, P., FEBS Letters, 78 (1977) 1
- Neupert , W.and Schatzm G., Trends Biochem . Sci ., 6 (1981) 1
- Novikoff, A. B, Proc.Natl, Acad . Sci., 79 (1976) 2781
- Ohkuma . S. et al , Proc. Natl, Acad. Sci ., 79 (1982) 758
- Osumi , T. and Hashimoto , T., Trends Biochem . Sci ., 79 (1982) 650
- Parodi , A. and Leloir, L., Trends Biochem . Sci., 1 (1976) 58
- Pastan , I. et al , Science, 214 (1981) 504
- Reddy , J.k., Trends Biochem . Sci., 3 (1978) 718
- Reijngoud, D.J., Proc. Natl . Acad . Sci ., 81 (1984) 7127
- Roth , J. Cell Biol., 98 (1984) 399
- Rothman, J. and Lenard . J.m Trends Biochem . Sci., 9 (1984) 176

- Sabatini , E. et al, Nature , 298 (1982) 511
- Sauone , C. et al, Int. Rev. Cytol., 43 (1975) 125
- Schachter , H., Cell , 40 (1985) 463
- Schatz, G. and Butow, R.A., Cell , 32 (1932) 316
- Schleyer, M. et al , Eur .J.Biochem ., 125 (1982) 109
- Schneider , Y.J.et al, Science , 190 (1975) 197
- Silverstein, S.C., Ann Rev.Biochem ., 46 (1977) 669
- Sjostrand, F.S.J. Ultra. Research , 64(1978) 217
- Slater , E.C., Eur . J. Biochem ., 125 (1982) 109
- Slayter, A., Nature , 299 (1982) 221
- Sly, W.S.and Fisher , H.D., J. cell Biochem., 11(1982) 67
- Srere, P.A., Trends Biochem . Sci., 7 (1982)1
- Staehelin, L.A. and De wit , M., J. Cell Biochem ., 24(1984) (261)
- Staneloni, A. and Leloir, L. F. Trends Biochem. Sci..4 (1979) 65.
- Steinman, R.M. et al , J. cell Biol.. 96 (1983) 1
- Tager , J.M. et al , FEBS Lett., 151 (1983) 1
- Tartakoff, A.M. , Trends Biochem . Sci.. 7 (1982) 174
- Tolbert, N.E., and Essner . E. . J. cell Biol., 92 (1981) 846
- Tzagoloff , A., EW.J. Biochem ., 126 (1982) 197
- Uname , E. et al , cell, 26 (1981) 439
- Ungewickell, E. and Branton, D., Nature, 289 (1981) 420
- Vernon, L.P. and klein . S.M., Plant physiol.. 49 (1972) 535

- Vigil , E.L., J. Histo Cytochem ., 21 (1973) 958
- Van Wettstein , D., Nature , 271 (1978) 420
- Wolters, M.N.I. et al, Proc. Natl. Acad. Sci., 81 (1984) 7127
- Whaley , W. C., J. Cell Bid., 89 (1981)162
- Willingham , M.C. Cell , 32 (1983) 277
- Willison, J.H.M. and Brown, R.M.jr., J. Cell Biol., 77(1978) 103
- Yaffe, M. and Schatz, G. Trends Biochem. Sci., 9 (1984) 179
- Zalman, L.S.et al , J. Biol. Chem., 255 (1980) 1771
- Zhang, F. and Schenjder, D.L., Biochem, Biophys . Res. Comman., 114 (1983) 620
- Zimmermann, R. and Neupert , W., EW.J. Cell Biol., 22 (1980) 152.
- Brown, W.J., Cytology, 1998, McGraw- Hill Ltd., New York, USA.
- Meyer, D.I. and Samuel, S., Cell Biology, 1996, Cantz Press Ltd., Philadelphia, USA.
- Roth, I., Mitochondria, 1998, Mc Graw- Hil, New York, USA.
- Roth, I. and Sly, W., Cell Biology, 1998, Penguin Books, New York, USA.

الفصل التاسع

نظام الخيوط الدقيقة - الأنبيبات الدقيقة (الهيكل الساييتوبلازمي)

Microfilaments-Microtubules System (Cytoskeleton)

نظام الخيوط الدقيقة - الأنبيبات الدقيقة (الهيكل الساييتوبلازمي)

الخيوط الدقيقة

الأنبيبات الدقيقة

انتشار الخيوط الدقيقة ووظائفها

انتشار الأنبيبات الدقيقة ووظائفها

(أ) الهيكل الساييتوبلازمي

الخيوط الوسطية

وظائف الهيكل الساييتوبلازمي

(ب) الجسم المركزي

وظائف الجسم المركزي

(ج) الأسواط والأهداب

(د) ألياف المغزل

نظام الخيوط الدقيقة - الأنبيبات الدقيقة (الهيكل السائتوبلازمي)

Microfilaments-Microtubules System (Cytoskeleton)

ترتبط كل من الخيوط الدقيقة Microfilaments والأنبيبات الدقيقة Microtubules بحركة الخلية وقوتها رغم اختلافهما في التركيب، لهذا تم إطلاق اسم «نظام الخيوط والأنبيبات الدقيقة» على عدد من التراكيب السائتوبلازمية الخلوية التي تدخل الخيوط والأنبيبات الدقيقة في تركيبها.

(1) الخيوط الدقيقة:

هي عبارة عن ألياف بروتينية غير متفرعة، يبلغ معدل طولها نحو 700 نانوميتر، وتتكون من سلسلتين بيتديتين يلتفان حول بعضهما البعض بشكل لولب حلزوني، ويمكن تقسيمها إلى نوعين هما:

أ- خيوط الأكتن الدقيقة Actin Microfilaments

تتكون كل سلسلة بيتدية من جزيئات الأكتن الكروية Actin Molecules Globular التي تسمى إختصاراً G-actin، التي تعد أكثر الجزيئات البروتينية إنتشاراً في خلايا حقيقية النواة، ويتراوح قطرها بين 5-7 نانوميتر.

ب- خيوط المايوسين الدقيقة Myosin Microfilaments

تتكون كل سلسلة بيتدية من جزيئات المايوسين التي يكون تركيزها في الخلية أقل بكثير من تركيز جزيئات الأكتن، ويتراوح قطرها بين 13 - 22 نانوميتر.

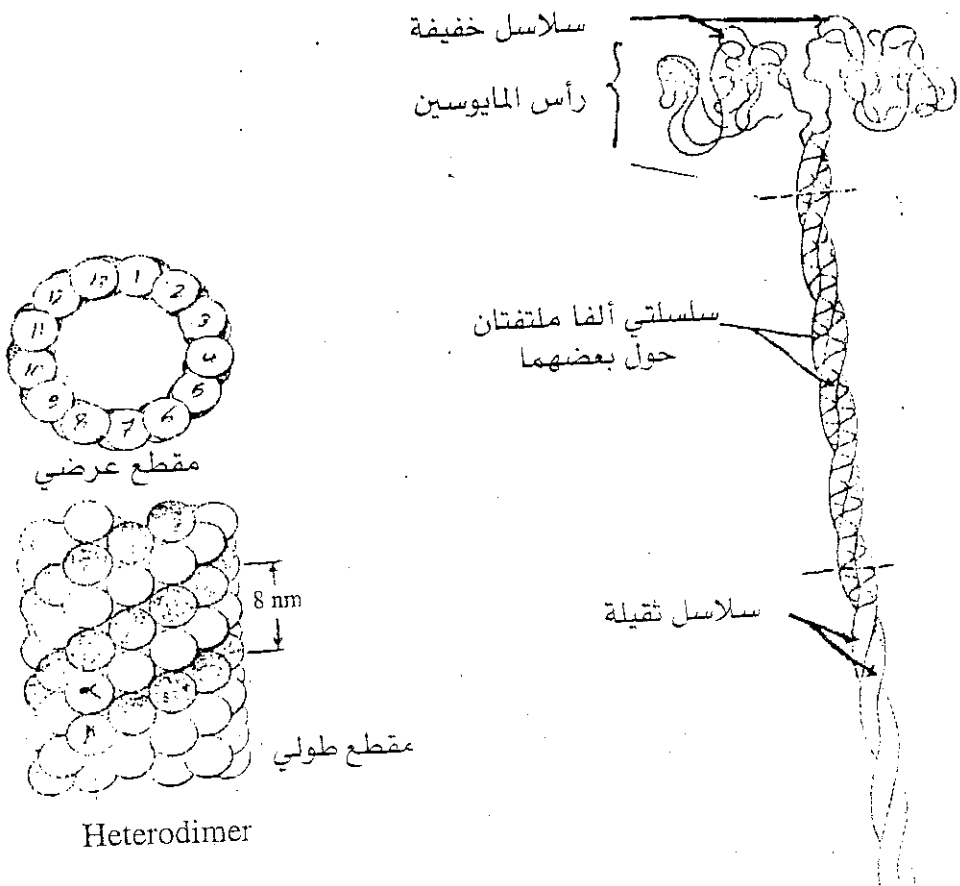
تسمى خيوط المايوسين «الخيوط السميكة» للتمييز بينها وبين خيوط الأكتن الرفيعة.

يتصل ATP بالخيوط الدقيقة لتوليد الطاقة اللازمة لحركتها. وينشط سايتوجالسن

ب Cytochalasin B عمل هذه الخيوط.

(2) الأنابيب الدقيقة:

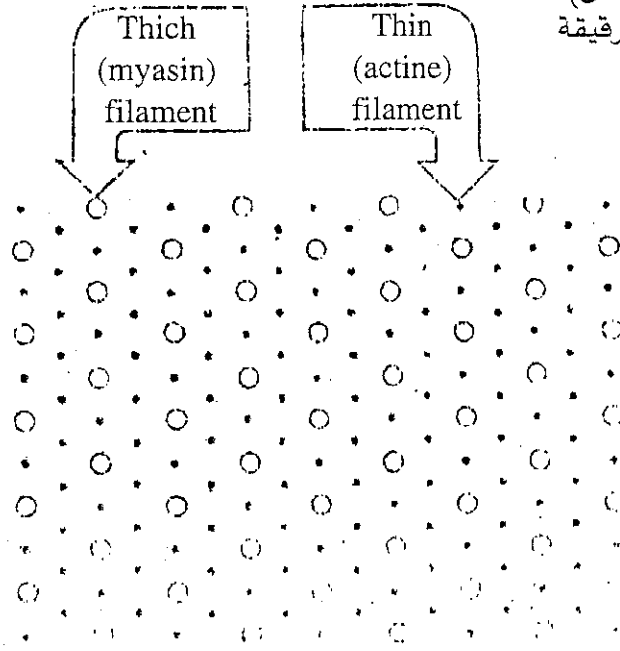
هي عبارة عن أنابيب مجوفة غير متفرعة، يبلغ معدل قطرها نحو 25 نانومتر وطولها نحو 700 نانومتر، ويتكون كل أنبوب من 13 خيطاً بروتينياً تلتف حول بعضها بشكل لولب، وهذه الخيوط تتكون من نوعين من وحدات بروتينية خاصة تدعى Tubulin هما (أ، ب، a, b) مما يجعل الأنبوب الدقيق يبدو وكأنه مكون من شريطين يلتفان حول بعضهما بشكل لولب مزدوج (شكل 9-1).



شكل (9-1): أ - المايوسين . ب - الأكتين

الخيوط الدقيقة
(مايوسين)
السميكة

الخيوط الدقيقة
(أكتن)
الرفيكة



شكل (9-2): الخيوط الدقيقة

تكون وحدات تيبولين أكبر حجماً من وحدات الأكتين، وتتكون هذه الأنابيبات في مواقع خاصة من الخلية تدعى مراكز التنظيم sites Organising.

يتم تحلل GTP إلى GDP لتوليد الطاقة اللازمة لحركة الأنابيبات الدقيقة. بينما يثبط الكولجسين Colchicine عملها.

انتشار ووظائف الخيوط الدقيقة

تنتشر الخيوط الدقيقة في معظم خلايا الكائن الحي. ومن أهم الأعمال التي تقوم بها ما يأتي:

(1) تقلص الخلايا العضلية وانقباضها:

تحتوي خلايا عضلات القلب والخلايا العضلية الملساء والمخططة عدداً كبيراً عن

الخيوط الدقيقة التي تعمل على تقلص وانقباض العضلة، وهناك نوعان رئيسان من هذه الخيوط هما:

أ- الخيوط الرفيعة المكونة من الأكتن.

ب- الخيوط السميكة المكونة من المايوسين.

يتقاطع نوعا الخيوط الدقيقة -وبشكل جسور- مع بعضهما بشكل يتيح الانزلاق لأحدهما عن الآخر مما يؤدي إلى قصر أو تقلص الخلية، وتنظم هذه الخيوط في الخلايا المخططة بشكل معين، وبحيث يحيط بكل خيط سميك ستة خيوط رفيعة، بينما يحيط بكل خيط رفيع ثلاثة خيوط سميكة (2-9)، وتدعى مجموعة الخيوط الرفيعة والسميكة المكونة من عدة مئات من الخيوط الليفية العضلية Myofibral.

(2) إنقسام سايتوبلازم الخلية:

يتكون إنقسام الخلية من آليتين هما:

أ- يتم انفصال كروموسومات الخلية عن بعضها من خلال عمل الأنبيبات الدقيقة في المغزل.

ب- يتم تقلص الغشاء البلازمي وتضييقه من الوسط من خلال عمل الخيوط الدقيقة، ويبدو أن آلية انقسام السايتوبلازم هي آلية شبيهة بعملية تحرك الأكتن والمايوسين على بعضهما كما يحدث في الخلايا العضلية.

(3) حركة غشاء البلازما:

يحوي الجدار الداخلي في الأمعاء على امتدادات انبوية لزيادة مساحة سطح الأمعاء مما يؤدي إلى زيادة الامتصاص الغذائي، وتمتد وتقلص هذه الامتدادات الانبوية نتيجة انزلاق خيوط الأكتن والمايوسين على بعضهما.

(4) حركة الأقدام الوهمية والحركة الأميبية:

تتحرك الأميبيا والفطر الزغبي وكريات الدم البيضاء بالأقدام الوهمية، التي هي عبارة عن جزء من الخلية يمتد إلى الأمام مكوناً امتداداً سايتوبلازمياً في الحركة.

هناك نظريتان عن تكون الأقدام الوهمية هما:

- أ- تحول الاندوبلازم تدريجياً إلى أكتوبلازم، بينما يتحول الأكتوبلازم إلى أندوبلازم.
- ب- يدفع الأكتوبلازم أندوبلازم الخلية إلى الأمام محولاً إياه إلى أكتوبلازم، بينما يتحول الأكتوبلازم إلى أندوبلازم.

وفي الحالتين، يتم تقلص الخيوط الدقيقة وانبساطها الموجودة في جميع الخلايا الحية -حتى الأميبا- لتكوين الأقدام الوهمية.

انتشار ووظائف الأنابيبات الدقيقة:

تقوم الأنابيبات الدقيقة بعدد من الأعمال، سيتم تناولها تفصيلاً في هذا الفصل ، أهمها:

- (1) عمل الجسيم المركزي Centriole
- (2) حركة الأسواط والأهداب.
- (3) تكوين المغزل في أثناء انقسام الخلية.

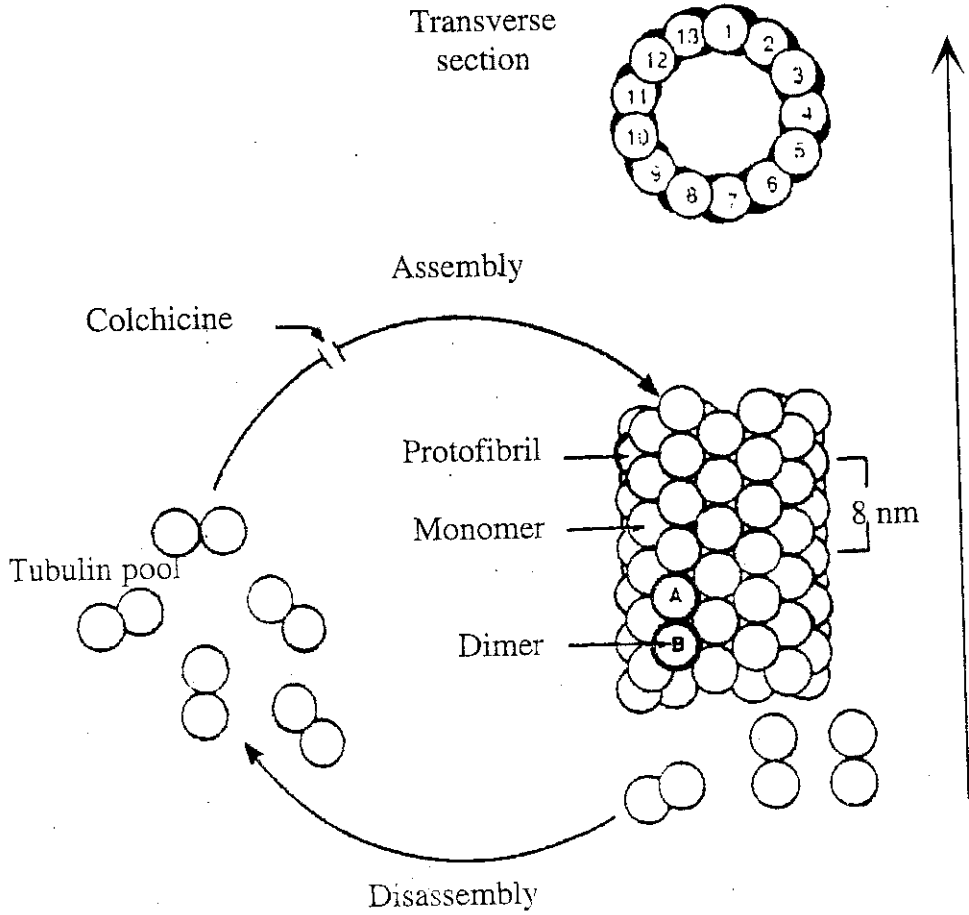
يشمل نظام الخيوط والأنابيبات الدقيقة التراكيب الخلوية الآتية:

- أ) الهيكل السائتوبلازمي.
- ب) الجسيم المركزي.
- ج) الأسواط والأهداب.
- د) ألياف المغزل.

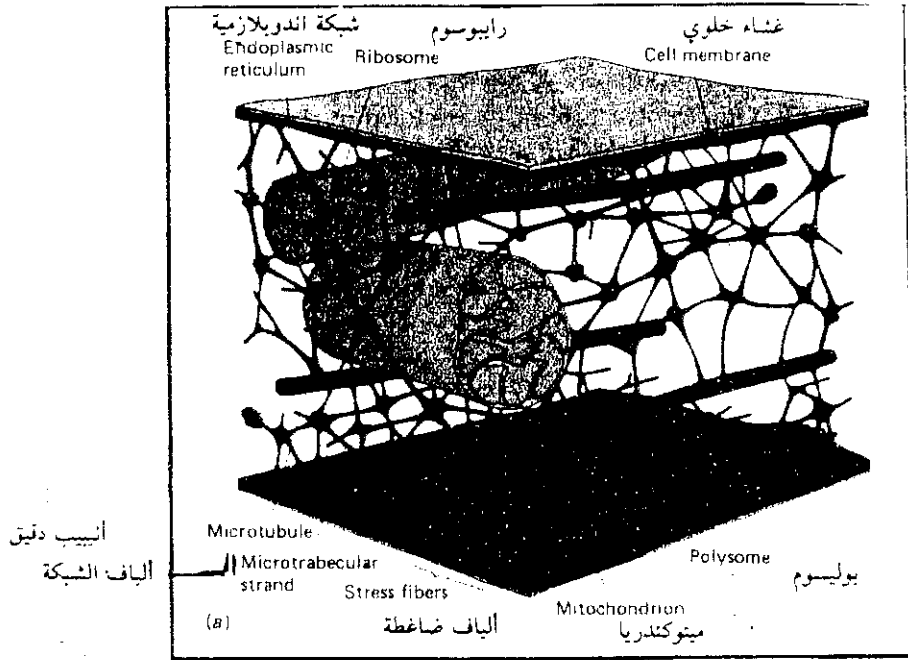
أ- الهيكل السائتوبلازمي The Cytoskeleton

يحتوي سائتوبلازم الخلايا حقيقية النواة على شبكة من ألياف بروتينية متقاطعة تساعد في تدعيم شكل الخلية وتثبيت العضيات السائتوبلازمية في أماكنها الخاصة تسمى «الهيكل السائتوبلازمي Cytoskeleton» (شكل 9-3)، ولا يمكن مشاهدة هذه الشبكة بالمجهر الضوئي لدقة أليافها البروتينية، وتتكون هذه الألياف وتتحلل باستمرار. حيث تتكون هذه الألياف الفردية بعملية البلمرة Polymerization التي تجذب فيها

الوحدات البروتينية الأساسية المتماثلة بعضها إلى بعض -بمساعدة الأنزيمات- وتتجمع تلقائياً سلاسل طويلة، وتتحلل هذه السلاسل إلى وحداتها الأولية ابتداءً من طرف السلسلة وانتهاءً بالطرف الآخر.



شكل (3-9) : مكونات الأنابيبات الدقيقة



شكل (4-9): الهيكل السائتوبلازمي

يضم الهيكل السائتوبلازمي للخلية الحية ثلاثة أنواع مختلفة من الألياف البروتينية هي: الخيوط الدقيقة والأنابيبات الدقيقة - التي تم شرحها في بداية الفصل - والخيوط الوسطية.

الخيوط الوسطية Intermediate filaments:

هي مجموعة من الألياف البروتينية التي يتراوح معدل قطرها ما بين 8 - 12 نانوميتر وطولها نحو 21 نانوميتر، ولهذا سميت الخيوط الوسطية لتراوح سمكها بين سمك الخيوط الدقيقة وسمك الأنابيبات الدقيقة، وهي أكثر الألياف انتشاراً وقوة في الهيكل السائتوبلازمي، وتتكون من سلاسل ببتيدية تلتف حول بعضها البعض بما يشبه الحبل أو أسلاك «الكبل» (شكل 4-9) وتتميز بثباتها وعدم تفككها بسهولة عند موت الخلية ويمكن تقسيمها إلى أربعة أنواع متشابهة في مظهرها الخارجي اللولبي، ولكنها تختلف في نوع البروتين الداخل في تركيبها وموقعها في الخلية وهي:

1) خيوط الكيراتين Keratin filaments:

تسمى أيضاً خيوط الكيراتين الساييتوبلازمية Cytokeratin filaments وتسمى أيضاً «الخيوط السائدة Tono filaments»، وتتركز في خلايا البشرة، ويوجد ما لا يقل عن 19 نوع من الخيوط الكيراتينية في الإنسان.

2) الخيوط العصبية Neuro filaments:

تكون هذه الخيوط مع الأنابيبات الدقيقة التركيب الأساس للخلية العصبية، وتحتوي ثلاثة أنواع من السلاسل الببتدية.

3) الخيوط الجلية Glial filaments:

تتكون هذه الخيوط من نوع واحد من جزيئات البروتين الذي يظهر صفات حامضية، وتوجد في ساييتوبلازم الخلايا النجمية astrocytes فقط.

4) الخيوط غير المتجانسة Heterogenous filaments:

هي مجموعة من الخيوط الوسطية التي تضم أنواعاً متعددة من جزيئات البروتين فيها مثل الدسمين desmin والفيمنتن Vimentin والسنمين Synmin وغيرها، وتقوم -على أكثر الاعتقادات- بالربط بصورة عرضية ما بين الخيوط والأنابيبات الدقيقة. وظائف الهيكل الساييتوبلازمي:

تتخلل الخيوط الدقيقة والخيوط الوسطية والأنابيبات الدقيقة العصير الساييتوبلازمي «الساييتوسول Cytosol» وتساعد في دعم الخلية ميكانيكاً وتثبيت شكلها، كما إنها تعمل على تثبيت الأنزيمات والجزيئات الكبيرة في أماكنها الخاصة بها في الساييتوبلازم، فضلاً عن تثبيت عضيات الخلية في مواقعها، ويؤدي التكون والتحلل المفاجئ (وكذلك التقلص والانبساط) لألياف الهيكل الساييتوبلازمي إلى حركة الخلية المستمرة، فضلاً عن تقلصها وانبساطها.

ب- الجسيم المركزي The Centriole

هو عضوية ساييتوبلازمية مكونة من مجموعة من الأنابيبات الدقيقة، يتراوح معدل قطره ما بين 150 - 250 نانوميتر. وطوله ما بين 160 0 800 نانوميتر.

يتكون الجسيم المركزي من تسعة مجاميع متشابهة محيطية متوازية (إلا في بداية ونهاية الجسيم) تحيط بمركز الجسيم الذي يكون فارغاً، وتتكون كل مجموعة من ثلاث أنبيبات دقيقة ملتحمة مع بعضها، معدل قطر كل منها نحو 25 نانوميتر، يسمى الأنبيب الدقيق القريب من المحور المركزي للجسيم «الأنبيب الدقيق A Microtubule»، وأحياناً الوحدة الثانوية أ Subunit A، ويسمى كل من الأنبيب الدقيق الوسطي والانببب الدقيق الخارجي «الانببب الدقيق B Microtubule» و «الأنبيب الدقيق C Microtubule» على التوالي.

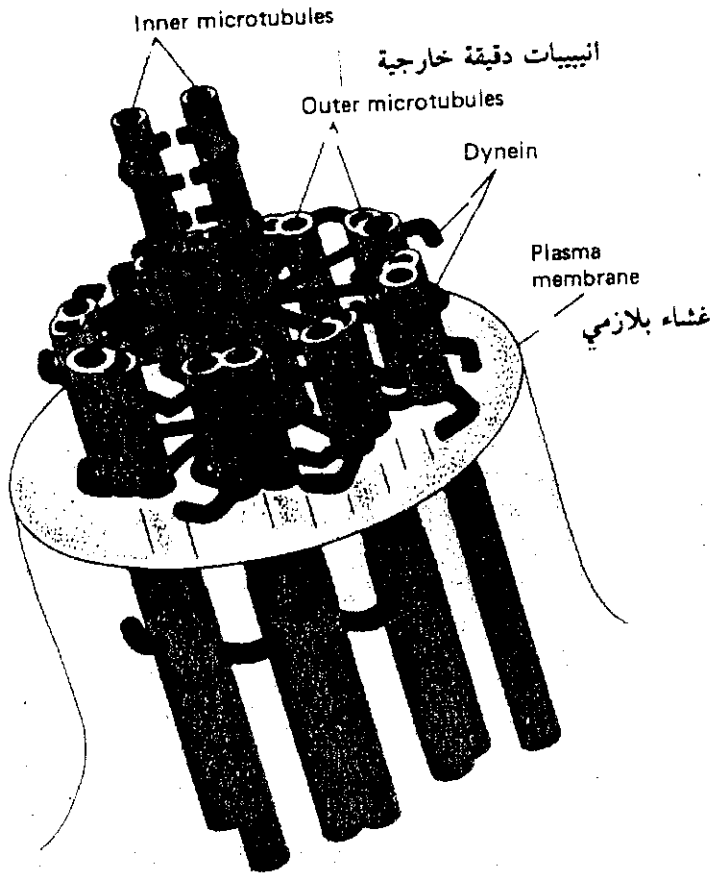
تحيط بالأنبيبات الثلاث مادة كثيفة غروية تحفظها في أماكنها، وذلك لانعدام غشاء خارجي يحيط بها، وترتبط كل مجموعة ثلاثية من الأنبيبات مع غيرها ومع محور الجسيم بهذه المادة أيضاً التي تكون اقل كثافة (شكل 9-5).

يكون الأنبيب الدقيق (أ) أنبيباً دائرياً متكاملأ عكس الانبيبين الآخرين لاشتراكهما في جدار الانبيبين ب و ج على التوالي، ويدعى نظام ترتيب أنبيبات الجسيم المركزي نظام (9 + صفر).

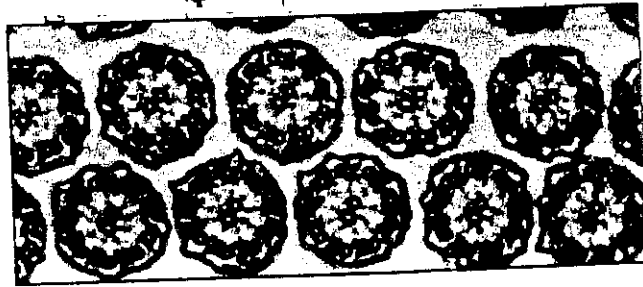
يتشابه التركيب العام للجسيم المركزي في جميع أنواع الخلايا التي تمت دراستها حتى الان، وكان الاعتقاد السائد إلى الستينات بأن جميع الخلايا الحيوانية تحتوي هذا الجسيم، بينما ينعدم في الخلايا النباتية، ولكن الدراسات الحديثة أثبتت وجود الجسيم المركزي في معظم الخلايا الحيوانية ومعظم الطحالب (عدا الحمر منها) وجميع الأشنات وبعض خلايا نبات السرفس، بينما ينعدم في النباتات الحاملة للمخاريط Cone-bearing plants (مثل الصنوبر) وجميع النباتات المزهرة والطحالب الحمر ومعظم الأبتدائيات غير السوطية أو الهدبية، كما تحتوي الأبتدائيات الحاملة لأسواط أو أهداب جسيمات مركزية، كما قد يوجد الجسيم المركزي في أحد أطوار دورة حيوان ابتدائي إذا كان ذلك الطور سوطياً أو هديباً، ولكنه يختفي في الأطوار الأخرى.

لا ينقسم الجسيم المركزي في أثناء عملية انقسام الخلية - كما كان الاعتقاد السائد سابقاً، وإنما ينشأ الجسيم المركزي الجديد قرب الجسيم القديم مشكلاً زاوية قائمة معه وعلى بعد يتراوح بين 50 - 100 نانوميتر، وتسمى منطقة وجود الجسيم المركزي في الساييتوبلازم «السنتروسوم Centrosome»

أنبيات دقيقة داخلية



مقطع عرضي في سطو أو هذب (رسم تخطيطي)



مقطع عرضي في هذب (تحت المجهر الإلكتروني)

شكل (5-9) : مقارنة بين تركيب الجسم المركزي (أ) وتركيب السوط (ب)

لا يوجد فرق تركيبى بين الجسيم المركزي و الجسم القاعدي Basal body، فعند عدم اتصال الجسيم القاعدي بالسوط أو الهدب وبقاؤه قرب النواة فإنه يدعى «الجسيم المركزي» وعندما يهاجر ذلك الجسيم إلى غشاء البلازما ويعمل كمركز لبناء السوط أو الهدب فإنه يدعى «الجسيم القاعدي».

أثبتت الصور الملتقطة بالمجهر الإلكتروني نشوء الجسيم المركزي من جسيم (أو عدد من الجسيمات) كثيف غير منتظم في الساييتوبلازم قوب النواة، وينشأ من جوانب ذلك الجسيم عدد من الجسيمات المركزية الذي يحوي كل منها على أنيبب دقيق واحد تسمى «جسيمات مركزية أولية Procentriole» التي يتكامل نموها تدريجياً وتهاجر إلى غشاء البلازما لتتحول إلى «أجسام قاعدية»، بينما ينشأ جسيم مركزي جديد من داخل ذلك الجسم الكثيف في حالة بدء انقسام الخلية، ثم يهاجر إلى الجهة الأخرى من النواة بعد استكمال نموه، ولا يزيد طول الجسيم المركزي الأولي على 70 نانوميتر ثم يزداد طوله تدريجياً، وقد أثبتت كافة التجارب والأبحاث بأن تكون الجسيم المركزي يتم بوجود أو انعدام الجسيم المركزي الأصلي (أو القديم) داخل الخلية، ولهذا فلا صحة للاعتقاد القديم -الذي كان سائداً- بأن الجسيم المركزي القديم يعمل قالباً template لتكوين الجسيم المركزي الجديد.

وظائف الجسيم المركزي:

يوجد زوج من الجسيمات المركزية بصورة متعامدة على بعضهما البعض في ساييتوبلازم الخلية وفوق النواة، ويهاجر أحد الجسيمين مع بدء عملية انقسام الخلية إلى الجهة الأخرى من النواة، ثم تبدأ ألياف المغزل بالظهور وتمتد من أحد الجسيمين إلى الآخر. لا تزال علاقة الجسيم المركزي بألياف المغزل علاقة غامضة ومحل تساؤلات عدة، فغالباً ما لا تتصل بالجسيم المركزي إطلاقاً، كما أن الألياف المغزلية تتكون في الخلايا عديمة الجسيمات المركزية.

ج- الأسواط والأهداب The Flagella & Cilia

هي عبارة عن تركيب اسطوانية تقع على سطح الخلية على هيئة امتدادات أو بروزات خيطية محاطة بغشاء هو امتداد للغشاء البلازمي المحيط بالخلية، وتتحرك

الأسواط أو الأهداب بسرعة إلى الأمام وإلى الخلف لتكوين حركة سريعة تدفع بالخلية إلى الأمام، أو قد تؤدي إلى حركة المواد المحيطة بالخلية.

تتشابه الأسواط والأهداب في تركيبها العام، وإن كانت الأسواط أكثر طولاً وأقل عدداً (عدداً بعض الابتدائيات التي يصل عدد أسواطها إلى عدة آلاف)، كما قد يقع السوط بصورة مفردة أو بشكل مجموعات صغيرة، بينما توجد الأهداب بأعداد كبيرة، ويتراوح طول السوط ما بين 100 - 200 نانوميتر، بينما يتراوح طول الهدب ما بين 5-10 نانوميتر.

يتركب السوط أو الهدب من جزئين أساسيين هما:

(1) الخيط المحوري المركزي Central Axoneme

(2) الجسم القاعدي Basal Body

(1) الخيط المحوري المركزي:

هو تركيب شبه صلب يمتد من جسم الخلية إلى خارجها ويحاط بغشاء مستمر ممتد من الغشاء البلازمي.

يتكون المقطع العرضي للسوط أو الهدب من نظام من الأنابيب الدقيقة يسمى (نموذج 9 + 2)، حيث يتكون من حلقة محيطية ذات تسعة مجاميع من أنابيب دقيقة مزدوجة (كل مجموعة مكونة من أنابيبين ملتصقين) تحيط بحلقة مركزية ذات أنابيبين مفردين متصلين مع بعضهما بجسر (شكل 9-5) يمتدان على طول المحور المركزي للسوط أو الهدب.

يتكون كل أنيبب مركزي من 13 خيطاً بروتينياً، ويحيط بالأنابيبين المركزيين وعلى امتداد طولهما «غمد مركزي Central Sheath»، بينما تتكون كل مجموعة أنيببية مزدوجة محيطية من ليفين ثانويين، أحدهما الليف الثانوي أ Subfiber A المكون من 13 خيطاً بروتينياً التي تكون حلقة كاملة، ويكون هذا الليف اضيق قطراً وأقرب إلى الحلقة المركزية من الليف الثانوي ب Subfiber B والذي تكون حلقاته غير كافية لاشتراكه في ثلاثة خيوط بروتينية (11,12,13) مع الليف الثانوي آ. (شكل 9-5).

يتصل اللييف الثانوي أ بالحلقة المركزية الداخلية بروابط شعاعية Radial Spokes التي تمتد على مسافات منتظمة على طول الخيط المحوري، كما يتصل اللييفان الثانويان أ و ب مع بعضهما البعض بروابط داخلية مزدوجة Inter doublet links التي تقع بصورة غير منتظمة على طول الخيط المحوري، كما يحتوي اللييف الثانوي أ على ذراعين مكونين من أنزيم يدعى «داينين Dynenin» بحيث تشير الذراع الخارجي بعيداً عن مركز الخيط المحوري والذراع الداخلي باتجاه الخيط المحوري.

(2) الجسم القاعدي:

يسمى الجسم القاعدي بأسماء مختلفة منها الجسم الحركي Kinetosome أو الجسيم القاعدي Basal Corpuscles أو الخلية الجفنية Blepharoplast أو الحبيبة القاعدية Basal granules.

يكون الجسم القاعدي مطموراً في سائتوبلازم الخلية، ويتصل من الأعلى بالخيط المحوري المحاط بالغشاء البلازمي، وقد تفصله عن الخيط المحوري صفيحة غشائية قاعدية، ويتكون الجسم القاعدي - كما تم بيان ذلك في موضوع الجسيم المركزي - من نظام أنيبيبي يدعى (9 + صفر)، وبمعنى آخر، فإن المقطع العرضي للجسم القاعدي يتكون من حلقة محيطية ذات تسعة مجاميع أنيبيبية ثلاثية (تتكون كل مجموعة من الأنابيبات أ و ب و ج) وينعدم الأنابيبات المركزيان.

تنشأ الأجسام القاعدية الأولية - كما هو الحال في الجسيم المركزي - من جوانب كتلة كثيفة (أو مجموعة كتل) غير مميزة، وتكون مكونة من أنيبيب واحد تضاف إليه بقية الأنابيبات تدريجياً، ولا تنشأ الأجسام القاعدية من الجسيم المركزي - كما كان الاعتقاد السابق - لاستحالة ذلك عملياً وذلك لوجود آلاف الأهداب في الخلية مما يستلزم وجود آلاف الأجسام القاعدية التي يستحيل أن تنشأ من جسيم مركزي واحد.

ليس للأجسام القاعدية أعمال بنائية - عدا تكوين الأسواط أو الأهداب - فهي لا تعمل مراكز لصناعة بروتين الخلية، رغم أن تكونها يتوقف في حالة وجود الأنزيمات المحللة لـ ر ن آ، ولكن لم تكشف الأبحاث الجارية عن وجود أي نوع من الحوامض النووية فيها.

التركيب الكيميائي للسوط أو الهدب:

تحتوي الأسواط أو الأهداب ثلاثة أنواع رئيسية من البروتينات هي تيبولين Tubulin وداينين Dyenin ونيكسين Nexin.

يوجد بروتين تيبولين في الأنبيبات المفردة المركزية والأنبيبات المحيطية المزدوجة، ويتصل هذا البروتين بـ GTP الذي يولد الطاقة اللازمة لعملية حركة السوط أو الهدب، بينما يوجد بروتين داينين بشكل أنزيم ATPase المحلل لـ ATP، ويتركز في الأنبيبات المحيطية المزدوجة للخيوط المحوري، ويكون مسؤولاً عن تحويل الطاقة الكامنة في ATP إلى طاقة حركية تسبب حركة السوط، وتتركز 50% من فعالية الأنزيم في أذرع الأنبيبات المتصلة بالليف الثانوي أ، بينما تتركز البقية في الروابط الشعاعية خاصة الأجزاء القريبة من الحلقة المركزية، ويتركز بروتين نيكسن في الروابط الداخلية المزدوجة الواصلة بين الليفين أ و ب.

حركة الأسواط والأهداب:

يتحرك السوط حركة تموجية، بينما تتحرك الأهداب حركة تناسقية تدريجية حيث تنتشي بعض الأهداب نحو هذا الاتجاه ثم تعود إلى وضعها الأولي لتنتشي مرة أخرى، وتتحرك صفوف الأهداب بصورة تدريجية، حيث ينتشي الصف الأول بينما يبقى الصف الذي يليه ثابتاً، وعندما يعود الصف الأول إلى وضعه المستقر، يبدأ الصف الذي يليه بالانثناء وهكذا.

لا تزال آلية حركة الأسواط والأهداب غير واضحة وموضع جدل مستمر، وقد تم اقتراح عدد من النماذج لتفسير آلية الحركة، منها «النموذج الخيطي الانزلاقي» الذي يقترح انزلاق الليفين الثانويين أ و ب على بعضهما، يتحلل ATP مع عملية الانزلاق بمساعدة بروتين داينين، ومنها «نموذج آلية التقلص» الذي يقترح حصول امتداد وتقلص في الروابط الشعاعية، ولكن لا توجد أدلة كافية لتفضيل نموذج على آخر، ولكن تقع أعداد كبيرة من الماييتوكونديريا - في معظم الخلايا - قرب الجسم القاعدي للسوط أو الهدب.

السوط البكتري The Bacterial Flagellium

تختلف أسواط البكتريا عن أسواط وأهداب الخلايا حقيقية النواة، فهي لاتحاط بغشاء بلازمي، ولا تحوي خيطاً محورياً مكوناً من أنبيبات دقيقة، بل يتكون من خيط حلزوني، معدل قطره نحو 13.5 نانوميتر، ومعدل طوله نحو 10 - 15 مايكرون، ومكون من بروتين يدعى «فلاجلين Flagellin» وينتهي الخيط الحلزوني بكلاّب Hook الذي يتصل بدوره بالجسم القاعدي المكون من قضيب يخترق جدار البكتريا، وعدد من الحلقات التي تصل القضيب بالكلاّب (شكل 9-6).

يعمل السوط البكتري من خلال دوران القضيب والكلاّب مما يؤدي بالسوط إلى الدوران باتجاه عقرب الساعة، وهذا يؤدي إلى دوران الخلية بهدوء.

تنتج الطاقة اللازمة لحركة السوط من نواتج الأكسدة الفوسفورية.

Oxidative Phosphorylation وليس من تحلل ATP.

د. ألياف المغزل

تتكون ألياف المغزل المتكون في أثناء انقسام الخلية من خيوط دقيقة وأنبيبات دقيقة، وهناك ثلاثة أنواع من الأنبيبات الدقيقة هي:

(1) الأنبيبات الكينيتوكورية Kinetochore microtubules التي تتصل بالكينيتوكور وهو مركز اتصال الأنبيبات الدقيقة بالكروموسوم، ويقع ضمن منطقة الجسم المركزي (سنتروميير Centromere).

(2) الأنبيبات القطبية التي تنتهي في أقطاب الخلية.

(3) الأنبيبات الحرة التي لا تنتهي في الكينيتوكور ولا في أقطاب الخلية ويمكن أن تتحلل جميع هذه الأنبيبات إلى وحداتها الثانوية من بروتين تيبولين عند استعمال الكولجسين أو عند وجودها في درجة حرارة باردة، ويعد العلماء أن الأنبيبات المتصلة بالكينيتوكور هي أهم أنبيبات المغزل لأن عملية ابتعاد الكروموسومات البنّية عن بعضها تتوقف بتحلل هذه الأنبيبات.

لا يعرف أحد وظيفة الخيوط الدقيقة في المغزل، ولكنها لا تستطيع أن تقوم بتحريك الكروموسومات بمفردها، كما إن خيوط الأكتن Actin Microfilaments هي الموجودة في المغزل، بينما تنعدم وجود خيوط المايوسين الدقيقة.

مراجع الفصل التاسع

- Afzelius, B. A., *Nature*, 302 (1983) 211.
- Albrecht-Buehler, G., *Sci. Amer*, 238 (1978) 68.
- Birchmeier, W., *Trends Biochem. Sci.*, 6 (1981) 234.
- Bretscher, A., *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 78 (1981) 6849.
- Cleveland, D.W., *Cell*, 28 (1982) 689.
- Craig, S.W. and Pollard, T.D., *Trends Biochem. Sci.*, 7 (1982) 88.
- Geiger, B., *Biochim. Biophys. Acta*, 737 (1983) 305.
- Goodenough, V.W. and Heuser, J.E., *J. Cell Biol.*, 95 (1982) 798.
- Hynes, R., *Cell*, 28 (1982) 437.
- Kakiuchi, S. and Sobue, K., *Trends Biochem. Sci.*, 8 (1983) 59.
- Lane, B. and Anderton, B., *Nature*, 298 (1982) 706.
- Lazarides, E., *Ann. Rev Biochem.*, 51 (1982) 219.
- Pollard, T.D., *J. Cell Biol.*, 91 (1981) 156.
- Reider, C.L., *J. Cell Biol.*, 80 (1979) 1
- Sheetz, M. P. and Spudis, J. A., *Nature*, 303 (1983) 31.
- Steinert, P.M. et al, *Cell*, 42 (1985) 411.
- Timpl, R. et al, *TIBS*, 207 (1983) 20.
- Weeds, A., *Nature*, 296 (1982) 811.
- Yamada, K.M. and Kennedy, D.W., *J. Cell Biol.*, 99 (1984) 29.
- Geiger, B., Cecil, M. and John, R., 1996, *The Cytoskeleton*, 1998, North
Pub. Ltd., New York, USA.
- Hyams, R.S. and Lloyd, C.W., *Microtubules*, 1997, Wiley- Less Ltd.
New York, USA.
- Woods, M., *Cytoskeleton*, 1996, South Pub. Ltd., Colorado. USA.

الفصل العاشر

النواة: التنظيم والانقسام **Nucleus: Organization & Division**

نواة الطور البيني

شكل النواة وحجمها وموقعها

أهمية النواة

مكونات نواة الطور البيني

الغلاف النووي

البلازما النووي

النوية

التركيب الكيميائي للنواة

علاقة النواة بالسيتوبلازم

الكروموسومات

تصنيف الكروموسومات

الكروموسومات الخاصة

الانحرافات الكروموسومية

عدد الكروموسومات

الانقسام الخلوي في الخلايا بدائية النواة

الانقسام الخلوي في الخلايا حقيقية النواة

الدورة الخلوية

الطور البيني

الانقسام الخيطي (الاعتيادي)

الطور التمهيدي

الطور الاستوائي

الطور الانفصالي

الطور النهائي

انقسام السايكوبلازم

التكاثر الجنسي واللاجنسي في الكائنات الحية

دورة الحياة الجنسية

الانقسام الاختزالي

الانقسام الاختزالي الأول

الطور التمهيدي

الطور ما قبل الاستوائي الأول

الطور الاستوائي

الطور الانفصالي الأول

الطور النهائي الأول

الانقسام الاختزالي الثاني

النواة: التنظيم والانقسام Nucleus: Organization & Division

نواة الطور البيني Interphase nucleus

وهي عضوية كبيرة نسبياً يمكن مشاهدتها بوضوح بالمجهر الضوئي، وصفها عام 1891 عالم النبات الانكليزي بروبرت براون Robert Brown وشاهدها عام 1835 في خلايا نبات الأوركيد، وأطلق عليها مصطلح النواة Nucleus اشتقاقاً من الكلمة الإغريقية Karyon التي تعني حبة (Kernel) أو بندقة (Nut).

وتحتوي الخلية المفردة حقيقية النواة غالباً على نواة واحدة وتسمى الخلية أحادية النواة Mononucleate، أو تحتوي على نواتين وتسمى ثنائية النواة Binucleate، وقد تحتوي على أكثر من نواتين وتسمى الخلية عديدة الأنوية Polynucleate وتسود الحالة الأخيرة (تعدد الأنوية في الخلية) في بعض الكائنات الواطئة كما في بعض الفطريات والطحالب وكذلك في الأنابيب اللبنية Latex tubes

شكل وحجم وموقع النواة

يعتقد بأن هناك علاقة بين شكل الخلية وشكل نواتها في كثير من الخلايا حقيقية النواة رغم وجود بعض الاستثناءات، ويسود الشكل الكروي أو البيضوي في نوية هذه الخلايا، كما يمكن ملاحظة بعض الأشكال الأخرى كالمغزلي والمتطاوّل أو غير المنتظم.. الخ في بعض الخلايا الأخرى.

كما يعتقد البعض أمثال هيرتويج O.Hertwig عام 1906 بوجود علاقة بين حجم النواة حجم الساييتوبلازم وهي:

حجم النواة

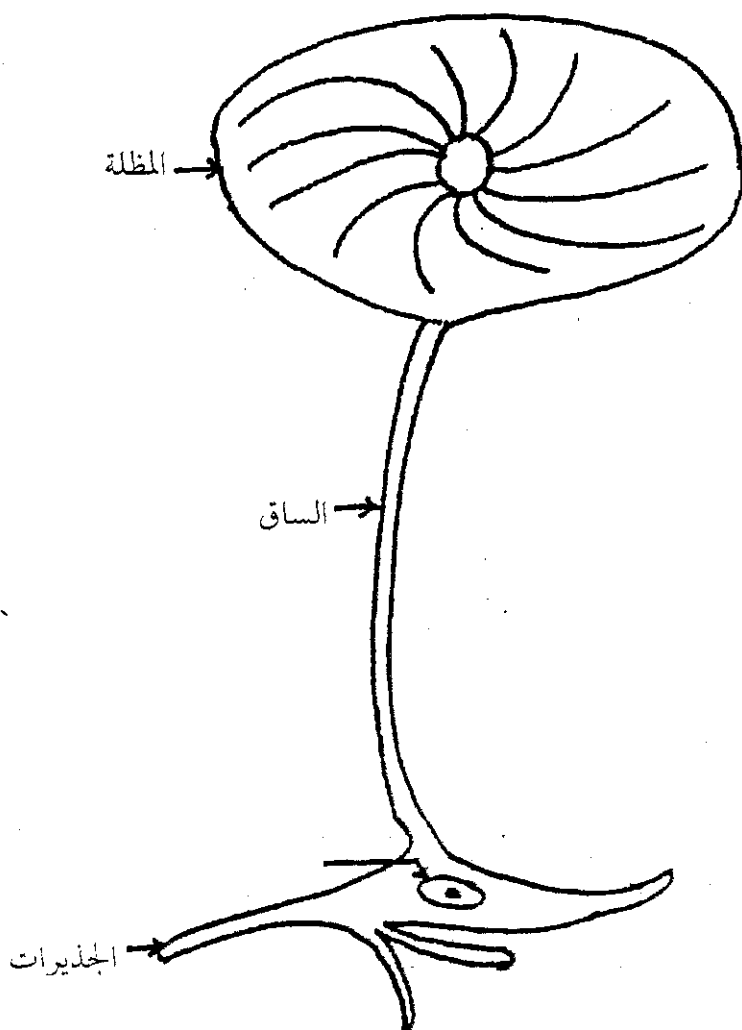
$$\frac{\text{حجم النواة}}{\text{حجم الساييتوبلازم}} = \text{المنسب الساييتوبلازمي}$$

وتحدد هذه العلاقة حجم النواة وحجم الساييتوبلازم وترابطهما معاً، فإذا حدثت زيادة في حجم الساييتوبلازم بدرجة أكبر مما يحدث في حجم النواة فإنها تؤدي بالنتيجة إلى حدوث حالة عدم توازن ينتج عنها (فضلاً عن أسباب أخرى) انقسام الخلية لموازنة هذا الاختلال، ويعد الحجم الكبير للنواة مظهراً من المظاهر المميزة للخلايا الفتية الناتجة عن الانقسام.

وتقع النواة بشكل عام في وسط الخلية الفتية أو المرستيمية أما في الخلايا مكتملة النضج فلا يوجد للنواة موقعاً محدداً، وقد تكون قرب جدار الخلية، وبصورة عامة فإن الشكل الكروي والحجم الكبير نوعاً والموقع الوسطي هو المظهر المميز للخلايا الفتية الحديثة التكوين.

أهمية النواة

تعد النواة مركز المعلومات الوراثية وهي بذلك تسيطر وتوجه كافة الفعاليات الحيوية الخاصة بالخلية. وقد تختفي النواة في بعض الخلايا في أثناء مراحل تطور ونمو هذه الخلايا قبيل النضج كما في كريات الدم الحمر للإنسان وخلايا اللحاء في النباتات. وتشير الدراسات إلى أن الخلية تضمحل وتموت عند فقد نواتها إلا أن هنالك بعض التجارب الحديثة في هذا المجال ترى غير ذلك، كما في التجارب التي استخدم فيها الطحلب الأخضر وحيد الخلية المسمى أسيتابيولاريا *Acetabularia* لتوضيح علاقة النواة بالساييتوبلازم وبالخلية بشكل عام ويبلغ طول هذا الطحلب نحو 6 سم ويتكون كما في الشكل (1 - 10) من الجذيرات *Rhizoids* وساق *Stalk* ومظلة *Cap*، وقد تمت إزالة النواة منه بقطع (استئصال) الجذيرات ثم أزيلت المظلة، ولكن الساق عديم النواة استطاع إعادة تكوين قبة جديدة.



شكل (10-1) الطحلب الأخضر Actabularia

مما أدى إلى افتراض وجود المعلومات الوراثية اللازمة لتكوين المظلة الجديدة في سايتوبلازم الساق الخاص بالطحلب وليس النواة، وفي تجارب أخرى تمت عملية التطعيم بين ضربين من الطحالب يختلفان في شكل المظلة هما (A.m) (*A. mediterranea*) و (*A.C*) *A.Crenulata* ، إذ تمت عملية التطعيم بأخذ جزء لا يحتوي على نواة من الضرب الأول وتطعيمه على الجزء الحاوي على النواة من الضرب الثاني، وبالعكس.

فلنلاحظ في النهاية إن المظلة الجديدة الناتجة بعد عملية التطعيم تكون مشابهة في شكلها وصفاتها للجزء الأصلي من الطحلب والحاوي على النواة وفي كلتا الحالتين، وعند إجراء عملية التطعيم بين النوعين وذلك باحتفاظ الجزئين (الأصل والطعم) بالنواة فإن صفات المظلة الجديدة الناتجة كانت وسطاً بين صفات النوعين، مما يدحض الآراء السابقة ويؤكد أهمية النواة في حفظ المعلومات الوراثية إذ اقترح بأن النواة تنتج مادة معينة تمر إلى الساييتوبلازم ومن ثم تؤثر في الصفات المظهرية للمظلة وهذه المادة هي الحامض النووي الرسول (mRNA) الذي يسيطر إلى تصنيع بروتينات معينة تؤثر على صفات المظهر الخارجي للخلية، وعند تعريض الساييتوبلازم لأنزيم الرايبونوكليز Ribonuclease أصبح هذا الجزء غير قادر على إنتاج المظلة لتأثير الأنزيم على حامض mRNA.

وفي مجال النبات لوحظ بأن الأنابيب المنخلية (Sieve tubes) الناضجة المكونة لخلايا اللحاء Phloem تستمر بالحياة رغم خلوها من النواة، ويفسر البعض هذه الظاهرة أن النواة منحلة داخل ساييتوبلازم الأنبوب المنخلي، بينما يعتقد البعض الآخر بأن الأنبوب المنخلي على صلة بالخلية المرافقة Companion Cell التابعة له التي تحتوي بدورها على نواة تساعد الأنبوب المنخلي المجاور لها في القيام بالأفعال الحيوية واستمرار الحياة.

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

أ- الطور البيني Interphase

ويمثل حالة النواة غير المنقسمة ويوازي طور الاستقرار الذي تكون فيه بعض الخلايا التي لا تنقسم طيلة فترة حياتها (الخلايا العصبية) وبعد أفضل طور لدراسة النواة بين كل انقسامين متتاليين.

ب- طور الانقسام Divissionphase

وهو الطور الذي تكون فيه النواة في حالة انقسام ونشاط مرتفع.

مكونات نواة الطور البيني

تتكون النواة من:

- 1- الغلاف النووي
- 2- البلازما النووي
- 3- الشبكة النووية أو الكروماتين أو الكروموسومات
- 4- النوية

1- الغلاف النووي The Nuclear Envelope

هو غشاء يحيط بالنواة من الخارج ويفصلها عن الساييتوبلازم المحيط بها، ويعد وجوده مهماً في تمييز الخلايا حقيقية النواة وذلك لانعدامه في خلايا بدائية النواة، وهو يتألف من غشائين رقيقين، أحدهما خارجي والآخر داخلي، يقدر سمك كل منهما بنحو 7 نانومتر، ويلتصق بسطح الغشاء الخارجي - في معظم الخلايا - عدد كبير من الرايبوسومات، كما يتصل الغشاء الخارجي للنواة بأغشية الشبكة الأندوبلازمية في مناطق معينة، ويلتحم الغشاء أن الخارجي والداخلي في مناطق «الثقوب النووية Nuclear pores»، ولكنهما ينفصلان عن بعضهما في المناطق الأخرى مما يؤدي إلى تكوين فراغات يصل سمكها ما بين 10 - 20 نانومتر تدعى الفراغات حول النووية Perinuclear space (شكل 10 - 2).

تختلف الثقوب النووية عن غيرها من الثقوب الموجودة في الغشاء البلازمي والشبكة الأندوبلازمية بتعقيد تركيبها، ويتراوح عدد الثقوب ما بين واحد إلى 60 ثقباً نووياً في المايكروميتر المربع من الغلاف النووي، ويبلغ قطر فتحة كل ثقب، واعتماداً على نوع التقنية المستخدمة لحسابه، نحو 15 نانومتراً، ويحيط بكل ثقب ثماني وحدات ثانوية مؤلفة من بروتينات متعددة تكون مع الثقب معقد الثقب complex Pore، ويتراوح قطر كل منها ما بين 50 - 80 نانومتراً، مما يؤدي إلى تكوين ما يشبه القنوات الجزيئية التي تسمح بمرور جزيئات معينة من خلالها لا يزيد قطرها عن 15 نانومتر فقط، حيث يمر نوعان من المواد خلال الثقوب النووية هما:

- 1- الحوامض النووية الرايبوزية المتكونة داخل النواة إلى الساييتوبلازم للقيام ببناء البروتين.

2- المواد البروتينية المتكونة بالرايبوسومات في الساييتوبلازم إلى داخل النواة لاستخدامها في بناء بعض التراكيب والأنزيمات النووية.

يحتوي الغلاف النووي عدداً من آليات النقل عبره مشابهة لتلك الموجودة في الغشاء البلازمي -الفصل الخامس- ، منها آلية النقل الفعال وغير الفعال Active & passive transport وآلية النقل بالحوصلات الغشائية Vesicle formation transport وآلية الانتشار الحر.

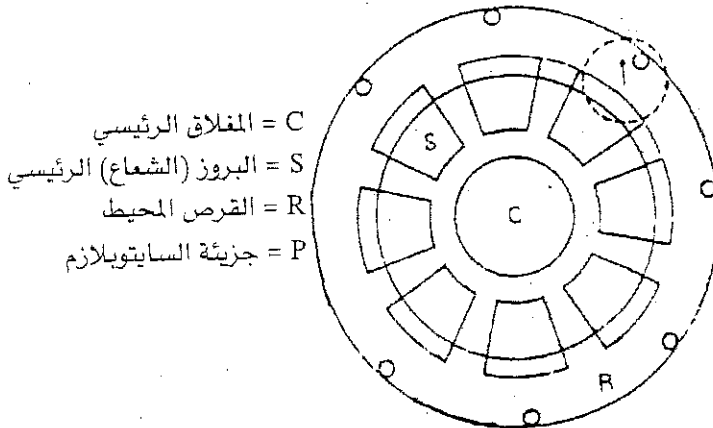
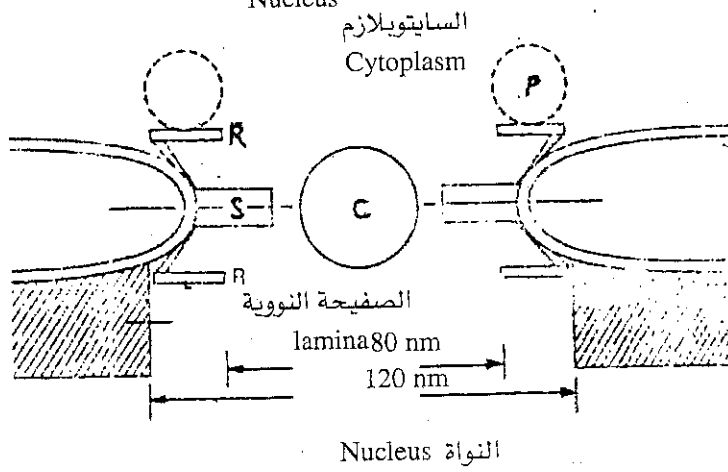
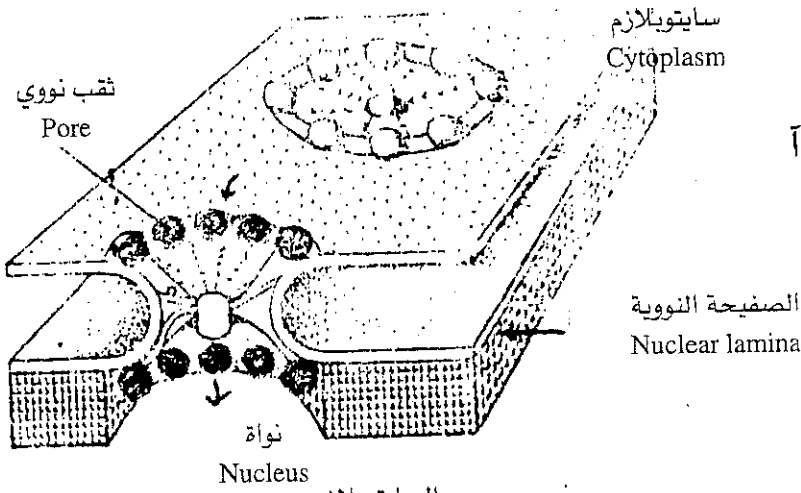
أظهرت صور المجهر الإلكتروني وجود اتصال وثيق بين الغشاء الخارجي للنواة وأغشية الشبكة الأندوبلازمية التي تعد امتداداً طبيعياً للغشاء النووي، كما أن هناك اتصالاً وثيقاً بين الغشاء الخارجي والأغشية المحيطة بالكلوروبلاست -في خلايا النبات- مما يؤدي إلى الاعتقاد بوجود تبادل للمعلومات الوراثية بين النواة والكلوروبلاست، كما تبدو أجسام كولجي امتداداً طبيعياً للغشاء، وتعمل -كما يبدو- لتسلم الحوصلات الغشائية الناتجة منه.

تتصل الكروموسومات بالغشاء الداخلي للنواة الواقعة في منتصف المسافة بين الثقوب النووية، وخلال الطور التمهيدي لكلا الانقسامين الاعتيادي والاختزالي، وتم اقتراح عدد من الأسباب لهذا الالتصاق منها:

- 1- قيام الغشاء الداخلي بمحتواه من الأنزيمات بمساعدة الكروموسومات على التضاعف.
- 2- قيام الغشاء الداخلي وأنزيماته بمساعدة الكروموسومات على الانتظام في مواقعها المتميزة خلال الأطوار التالية.

3- تعد المناطق الملتصقة بها الكروموسومات مناطق بداية تكون الغلاف النووي.

يتم انحلال واضمحلال الغلاف النووي عند نهاية الطور التمهيدي للانقسام الاعتيادي أو الاختزالي مما يؤدي إلى تكوين حوصلات غشائية منفصلة منتشرة في ساييتوبلازم الخلية يصعب تمييزها عن أغشية وحوصلات الشبكة الأندوبلازمية، ويتكون الغلاف النووي الجديد من انتقال أجزاء من الشبكة الأندوبلازمية التي تبدأ بالاحاطة بالكروموسومات ثم تتحد مع بعضها البعض لتكوين الغلاف النووي المزدوج



شكل (10-2) الثقب النووي حيث يمثل - 1 - مخططاً عاماً له و (ب) مقطعاً عرضياً و(ج) منظراً سطحياً للنواة

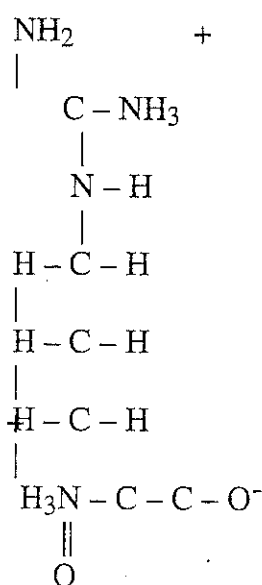
الغشاء، ولا يتكون الغلاف النووي الجديد من الحويصلات الغشائية الناتجة من الغلاف القديم، وإنما يتم تجميع الحويصلات وأجزاء من الشبكة الأندوبلازمية بصورة عشوائية. يحوي الغشاء الداخلي للنواة منطقة «الصفحة الكثيفة Lamina Densa» التي تتركز فيها مادة الهيتروكروماتين التي تحوي على المواد الكروماتينية، وتعد مكان لوجود الكروموسومات.

2- البلازما النووي Nucleoplasm

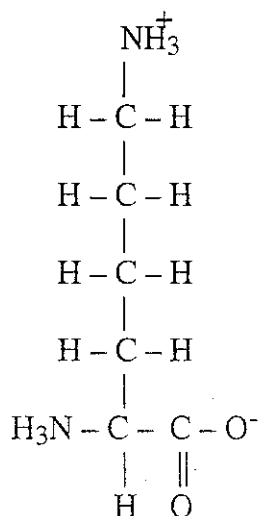
عبارة عن محلول غروي نصف سائل ذي طبيعة حبيبية يكون وسطاً لمواد التفاعلات الحيوية في النواة. ويوجد بداخله النوية والكروموسومات (الكروماتين)، ويتكون هذا المحلول من مواد عضوية وغير عضوية أهمها الأحماض النووية والبروتينات وبعض العناصر المعدنية.

وتشمل الأحماض النووية كلا من الحامض النووي معدوم الاوكسجين والحامض النووي الرايبوزي بأنواعه الثلاثة: الرسول mRNA والناقل tRNA والرايبوسومي rRNA، وأما البروتينات النووية فهي إما أن تكون بروتينات بسيطة (كاملة) تتركب من أحماض أمينية فقط، أو قد تكون بروتينات مقترنة تدخل في تركيبها مواد أخرى غير الأحماض الأمينية (الفصل الثالث) كما في حالة البروتينات الداخلة في تركيب بعض الأنزيمات مثل أنزيم NMN adeny transference الذي يساعد في تكوين مركب NAD الضروري في السلسلة التنفسية، ومن الأنزيمات النووية الأخرى هي الأنزيمات المحللة لحامض الرايبوز Ribonuclease والأنزيمات المحللة للبروتينات Peptidase والأنزيمات الفوسفاتية Phosphatase وغيرها. فضلاً عن بعض المساعدات (Cofactors) مثل الـ ATP و Acetyl Co-A و NAD.

ويمكن تقسيم البروتينات النووية على نوعين، قاعدية (هستونية) وحامضية (لاهستونية)، فالبروتينات القاعدية غنية بالحوامض الأمينية القاعدية (السلسلة الجانبية للحامض (R) عبارة عن قاعدة) من النوع المتأين (ionizable) كالارجنين واللايسين، حيث يحتوي كل منهما على مجموعة أمونيا (NH_3) كما موضح تركيبهما في الشكل الآتي:



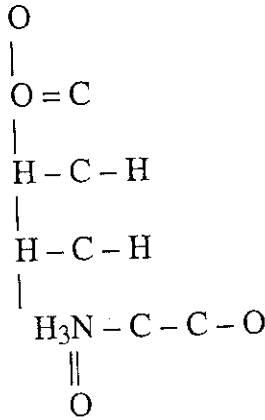
(الأرجنين)



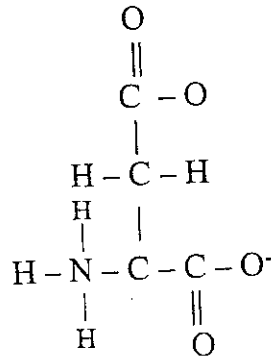
(اللايسين)

ويتصرف الحامض بوجود مجموعة الأمونيا في تركيب البروتين وكأنه متعدد الشحنات الموجبة (Polycations)، إذ تتفاعل هذه الشحنات الموجبة (الموجودة على مناطق عدة من البروتين) مع مجاميع الفوسفات الحامضية السالبة (PO₄) الموجودة في تركيب الأحماض النووية والتي (الأحماض النووية) تعد متعددة الشحنات السالبة Polyanions، حيث يعتقد بأن هذه الشحنات السالبة (PO₄) تتعادل مع الشحنات الموجبة (NH₃) للبروتينات القاعدية الموجودة في مادة الكروماتين (الكروموسومات) للخلايا حقيقية النواة، ومن أكثر البروتينات القاعدية شيوعاً في نواة الخلية هي الهستونات Histones وتعادل نسبتها نسبة حامض DNA في الكروماتين، كما تتلون البروتينات القاعدية بالاصباغ القاعدية.

أما البروتينات النووية الحامضية فإنها غنية بالأحماض الأمينية الحامضية (السلسلة الجانبية للحامض (R) عبارة عن حامض) كحامض الأسبارتيك والكلوتاميك حيث يحتوي كل منهما على مجموعة كاربوكسيل (COO) كما موضح تركيبهما في الشكل الآتي:



(حامض الكلوتاميك)



(حامض الاسبارتيك)

وتعرف بالبروتينات اللاهستونية كما يوجد قسم منها يسمى البروتينات المفسفرة التي لها خواص معينة تجعلها تلعب دوراً مهماً في عملية نقل المعلومات الوراثية. أما بخصوص العناصر المعدنية الموجودة في النواة فمعظمها أيونات عناصر غذائية كالپوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم فضلاً عن الفسفور والصوديوم. ويرتبط الكالسيوم بالمادة الوراثية في أثناء عملية النمو كما يدخل المغنيسيوم في تركيب الكروماتين (الكروموسومات).

3- النوية Nucleolus

هي جسيم كثيف داكن اللون صغير الحجم كروي الشكل يقع داخل البلازما النووي، ويمكن ملاحظته بوضوح في خلية الطور البيني، ولا تحاط النوية بغشاء يفصلها عن البلازما النووي، وتحوي النواة نوية واحدة أو أكثر، وقد يصل عددها إلى عشرات النويات، ويقل حجم النواة مع زيادة عدد النويات في النواة الواحدة، وتتكون النويات نتيجة تجمع وحدات ثانوية صغيرة- شبيهة بالوحدات الأولية التي تتكون منها الرايبوسومات- تحوي الحامض النووي الرايبوزي الرايبوسومي rRNA، ويعتقد أكثر الباحثين بأن النوية هي المصدر الأساس في تخليق الرايبوسومات حياتياً، وذلك لأنها غنية بالحامض الرايبوزي RNA (4% من مجموع RNA الخلية) والبروتين النووي

الرايبوزي Ribonucleoprotein ، وهناك وعدد من الأدلة التي تؤيد ذلك منها:

- 1- وجود تراكيز كبيرة من ر ن أ RNA في النوية.
- 2- استعمال مضادات حيوية لمنع تكون ر ن آ في الخلية سيؤدي إلى إيقاف تكون الرايبوسومات.
- 3- وجود علاقة طردية بين زيادة تركيز ر ن آ في النوية وزيادة تركيزه في الساييتوبلازم.
- 4- لا تستطيع الأجنة التي تمت إزالة النوية منها في دور الثماني الخلايا أو دور البلاستولا الحياة بعد انتهاء أو في أثناء دور الكاسترولا.
- 5- أثبتت الأبحاث المستعملة فيها -المواد المشعة- وجود 45s RNA المادة الأساسية في تكوين أنواع ر ن أ في النوية.

أظهرت صور المجهر الإلكتروني أربع مناطق مميزة داخل النوية هي:

1- المنطقة الحبيبية Granular Zone

هي منطقة صغيرة ذات حبيبات صغيرة معتمة، يبلغ قطرها نحو 15 نانوميتر، وغالباً ما تكون الحبيبات أصغر من الرايبوسومات، وتكون حساسة لتغير درجات الحرارة.

2- المنطقة الليفية Fibrillar Zone

هي منطقة صغيرة جداً وذات ألياف غير مميزة يبلغ قطرها حوالي 7 نانوميتر.

3- الحشوة عديمة التركيب Astructuralless Matrix

هي مادة تتعلق بها المواد الليفية والحبيبية.

4- كروماتين النوية Nucleolar Chromation

هي منطقة تحوي أليافاً كروموسومية، يبلغ قطرها نحو 10 نانوميتر، تسبب الأنزيمات المحللة للبروتين Proteolytic اختزالاً في مواد المنطقتين الحبيبية والليفية، بينما تسبب الأنزيمات المحللة لـ د ن آ اختزالاً في كروماتين النوية، مما يؤكد الأدلة على عند النوية مركز تخليق الرايبوسومات في الخلية، وقد استطاع الباحثون تصوير

عملية انتقال الحامض النووي الرايبوزي RNA بأنواعه الثلاثة من النوية إلى الساييتوبلازم خلال الثقوب النووية بالمجهر الإلكتروني، كما تم تصوير عملية دخول البروتينات المكونة بالرايبوسومات إلى داخل النواة ثم النوية بنفس الطريقة.

يتم اختفاء وتحلل النوية في بداية الطور التمهيدي لانقسام الخلية، ويتحد كروماتين النوية -وهو في أكثر الاعتقادات الجزء الذي يحمل الشفرة الوراثية لتكوين النوية من جديد - مع أحد الكروموسومات في منطقة تدعى «موقع منظم أو مكون النوية Nucleolar Organizing Zone» أو NOR اختصاراً، وعند قطع المنطقة المنظمة للنوية من الكروموسوم نتيجة طفرة وراثية -طبيعية أو صناعية- فإن عملية تكون النوية تتوقف ثم تتوقف عملية بناء الرايبوسومات، ويزداد عدد المناطق المنظمة للنوية مع زيادة عدد النويات في الخلية على شرط وجود منطقة NOR واحدة في الكروموسوم الواحد، فمثلاً لو كانت هناك أربع نويات في النواة، فستكون في مقابلها أربع مناطق NOR على أربع كروموسومات، منطقة واحدة لكل كروموسوم، ولهذا فعدد النويات لا يمكن أن يكون أكثر من العدد الزوجي لكروموسومات الخلية، وفي حالة وجود عدد من النويات - في حالات نادرة - أكثر من العدد الزوجي للكروموسومات فإن قسماً من هذه النويات تندمج مع بعضها مع بداية انقسام النواة ليصل العدد النهائي لها قبل الانقسام العدد الزوجي للكروموسومات في الخلية.

التركيب الكيميائي للنواة

تحتوي النواة أربع مكونات رئيسية هي:

1- الحامض النووي معدوم الاوكسجين (DNA) (د ن أ)

تتناسب كمية الحامض طردياً مع عدد كروموسومات الكائن الحي، رغم عدم وجود علاقة بين كمية د ن أ لخلية ومدى تطورها الحياتي، وتزداد كمية الحامض إلى الضعف أثناء عملية انقسام الخلية، ويعمل الحامض لنقل الصفات الوراثية من جيل لآخر.

2- الحامض النووي الرايبوزي (RNA) (ر ن أ)

يوجد هذا الحامض بأنواعه الثلاثة (الرسولي والرايبوزي والناقل) بكميات قليلة في

النواة - لا سيما النوية-، وإن أثبتت الدراسات الحديثة أنه يصنع في النواة ثم ينقل إلى الساييتوبلازم - الذي يتوفر فيه بكثرة - ليساهم بشكل رئيس في التخليق الحيوي للبروتين.

3- البروتينات النووية Nuclear Proteins

يمكن تقسيم البروتينات النووية على نوعين:

- أ- بروتينات قاعدية هستونية التي تكون غنية بالحوامض الأمينية القاعدية مثل الارجنين واللايسين والتي تتحد مع د ن آ بنسب متساوية تقريباً لتكوين الكروماتين.
- ب- بروتينات حامضية لاهستونية التي تكون غنية بالحوامض الأمينية الحامضية التي يتحد بعضها مع الشحوم لتكوين الشحوم المفسفرة Phospholipids أو مع الكربوهيدرات لتكوين البروتينات السكرية Glucolipids.

4- الشحوم Lipids

توجد الشحوم بشكل مركبات معقدة داخل النواة مثل شحوم فوسفاتية أو بروتينات شحمية Lipoprotein

5- العناصر المعدنية Metal ions

توجد بشكل أيونات عناصر غذائية كالبيوتاسيوم والكالسيوم وغيرها.

6- الأنزيمات Enzymes

تحتوي النواة الكثير من الأنزيمات المحللة للحوامض النووية Nucleases والبروتينات Proteinases والشحوم Lipases وغيرها التي ترتبط مع شبكة الكروماتين أو تذوب في البلازما النووي فضلاً عن أنزيمات منظمة وغير منظمة أخرى.

الكروماتين Chromatin

هو مركب معقد خيطي الشكل يتكون من الحامض النووي معدوم الاوكسجين (31%) والحامض النووي الرايبوزي (5 - 17%) والبروتينات الهستونية (33 - 36%) وبروتينات غير هستونية (18 - 28%). ويمكن تمييز نوعين من الكروماتين في الكروموسومات هما:

(1) الكروماتين المغاير Heterochromatin الذي يمتص الصبغات القاعدية بشدة، ويوجد في مناطق في الكروموسومات تعد خاملة من الناحية الوراثية (مجردة من الجينات).

(2) الكروماتين الحقيقي Euchromatin الذي لا يمتص الصبغات القاعدية بشدة، ويوجد في مناطق كروموسومية تعد نشطة وفعالة من الناحية الوراثية.

علاقة النواة بالساييتوبلازم

يوجد ترابط عضوي بين عمل النواة وعمل الساييتوبلازم، إذ يؤدي التناقص بينهما إلى تكامل العمليات الحيوية في الخلية الحية، إذ يقوم الساييتوبلازم -مثلاً- بإنتاج معظم الطاقة اللازمة للتفاعلات الحيوية عن طريق الفسفرة التأكسدية في الماييتوكوندريا والتحلل اللاهوائي للكلوكوز، بينما تعمل الرايبوسومات فيه على بناء البروتينات اللازمة لتكوين أجزاء النواة، بينما تعمل النواة على تصنيع الحامض النووي معدوم الأوكسجين (د ن آ) الذي يحمل الشفرة الوراثية لجميع فعاليات الخلية، والذي يتم فيه استنساخ الحامض الرايبوزي بأنواعه الثلاثة والذي يحمل الأوامر إلى رايبوسومات الخلية لإنتاج البروتين.

الكروموسومات The Chromosomes

عبارة عن أجسام لولبية الشكل داكنة اللون وصفت عام 1880 ، وكل كروموسوم يمثل قضيب ملتفاً على بعضه التفافاً متراصاً كالملف (Coil) يمكن مشاهدته بالمجهر الضوئي ولا سيما عند التلوين بالأصبغ القاعدية ذات الشحنات الموجبة كالهيماتوكسولين والفيوشين في أثناء مراحل انقسام الخلية.

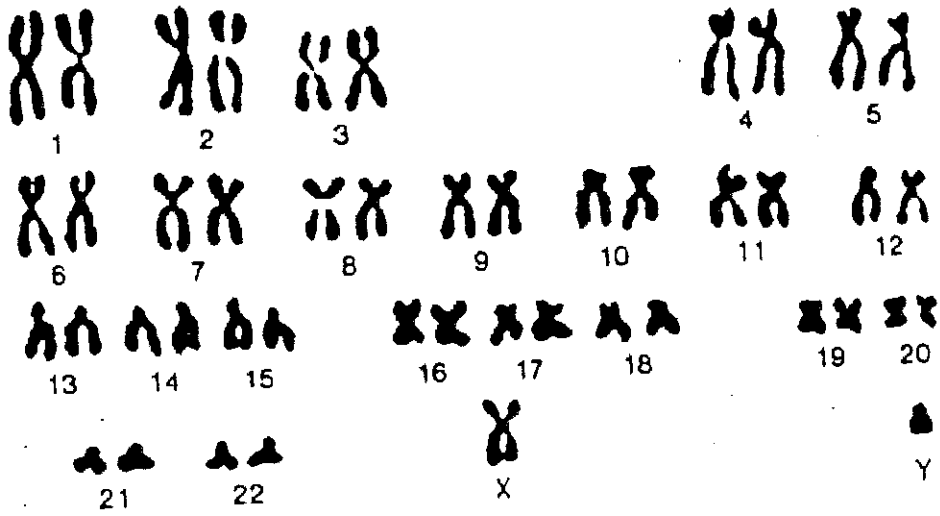
اعتقد الباحثون سابقاً بأن الكروموسوم الواحد ينشطر إلى كروماتيدين ينتقل كل منهما إلى أحد أقطاب الخلية (بالطريقة العشوائية) في أثناء عملية انقسام الخلية، وعند نهاية الانقسام يتفكك الكروموسوم إلى أجزاء صغيرة منفصلة ومبعثرة تسمى حبيبات الكروماتين، ولكن الدراسات اللاحقة أثبتت بأن العملية لا تجري بهذه الصورة، إذ تبين بأن الكروماتين (الكروموسوم) عبارة عن خيط طويل جداً وملف على بعضه التفافاً دقيقاً ومتراصاً بحيث يبدو كأنه جسم لولبي (كالملف Coil) كثيف خلال مراحل انقسام الخلية، وبعد عملية الانقسام (في الطور البيني) ينحل التفاف هذا الخيط

(الكروموسوم) ولا يتجزأ في مناطق معينة فتصبح هذه المناطق مستقيمة وممتدة تسمى أليافاً كروماتينية ممدودة Extended Chromatin.

وعند صبغ هذا الجزء الممدود بأصبغ قاعدية، فإن الصبغة تبدو باهتة اللون، ويسمى هذا النوع من الكروماتين (الحقيقي Euchromatin)، وأما المناطق الأخرى من الكروموسوم فتبقى على التافها، مما يجعلها تظهر على شكل مناطق تحوي حبيبات كثيفة كبيرة ومتقاربة تسمى الحبيبات الكروماتينية المكثفة Condensed chromatin على طول جزء الكروموسوم الممدود مما يجعلها تمتص الأصباغ القاعدية بكثافة، مما يجعل المنطقة قائمة داكنة اللون، ويسمى هذا النوع من الكروماتين «الكروماتين المغاير Heterochromatin».

يدعى مجموع الخيوط الكروماتينية (الألياف الممدودة + الحبيبات المكثفة) لجميع الكروموسومات بـ (الشبكة الكروماتينية Chromatin network) خلال الطور البيني. يتكون الكروموسوم الواحد من جزء من الحامض النووي معدوم الأوكسجين (د ن أ) المتحد مع بعض البروتينات القاعدية الهستونية مع قليل من الحامض النووي الرايبوزي (ر ن أ) وبعض الشحوم. ويعتقد أن المناطق الممدودة تحتوي على كمية أكبر من د ن أ، وهي تعمل على استساخ ر ن أ وتوجيه عملية تكوين بروتينات الخلية، بينما تكون المناطق المكثفة غير فعالة وتحوي كمية قليلة من د ن أ، وقد تمت ملاحظة زيادة كمية البلازما النووي مع زيادة وجود الألياف الممدودة، والعكس صحيح.

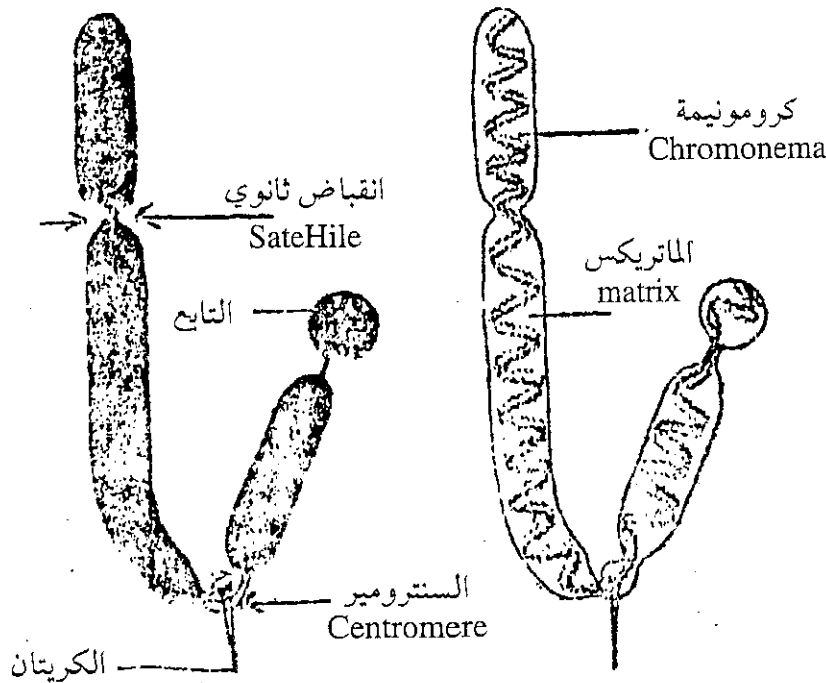
وتختلف الكروموسومات عن بعضها بالشكل والحجم وفي موقع السنترومير وطول الأذرع على جانبيه، وصفاتها الصبغية وموقع المناطق الصبغية على امتداد الأذرع، إلا أن عددها في الخلية بشكل عام يكون ثنائي المجموعة الكروموسومية diploid باستثناء الخلايا الجنسية (الكميات) التي تحتوي على عدد فردي haploid من الكروموسومات، فمثلاً يكون عددها في الخلية الجسمية للإنسان 46 كروموسوماً ثنائياً تتضمن مجموعتين متماثلتين من الكروموسومات، كل مجموعة ذات 23 كروموسوماً وتوجد في جميع الخلايا الجنسية (بيضة أو حيمن) حيث يوجد نكل كروموسوم في مجموعة مثل له من نفس النوع في المجموعة الثانية عدداً كروموسومي الجنس (الشكل 10-3).



شكل (3-10) كروموسومات الإنسان (اللون الغامق) يمثل نسبة الكروماتين فيها

وتضاعف كل مجموعة (23 كروموسوم) نفسها لكي تعطي في كل حالة (كل كروموسوم) نسختين متطابقتين هما الكروماتيدان الأختان Sister chromatids اللتان تبقيان متصلتين مع بعضهما في منطقة السنترومير. وبذلك فإن الخلية الجسمية للإنسان قبل بدء عملية الانقسام تحتوي على 46 كروموسوماً مضاعفاً ولكل كروموسوم كروماتيدان بنتان مرتبطتان بسنترومير واحد (أي 46 سنتروميراً، وأربعة مجاميع متماثلة كل مجموعة ذات 23 كروموسوماً بمجموع يعادل 92 كروموسوماً مكرراً) ويقال بأن الخلية ذات 46 كروموسوماً وليس 92 كروموسوماً لأن عدد الكروموسوم يعتمد على عدد السنتروميرات.

وبهذا يمكن تعريف الكروموسومات بأنها: «وحدات وراثية مستقلة لها شخصية ذاتية ولها خواص فسلجية، قادرة على مضاعفة تركيبها الطبيعي والكيميائي في أثناء انقسام الخلية، ويوجد في كل كروموسوم نوعان من التخصر (شكل 10 - 4).



شكل (10-4) التخصر الكروموسومي

1- التخصر الأولي Primary constriction: وهو تخصر تخطيطي يمثل منطقة الحركة في الكروموسوم، ويظهر فيه جسم شفاف لا يقبل الصبغات هو «السترومير» التي تتصل به ألياف المغزل، ولكل كروموسوم سنترومير واحد ذو موقع معين يختلف باختلاف الكروموسوم، مما يؤدي إلى تكوين كروموسومات متساوية الذراعين أو غير متساوية الذراعين أو ذات ذراع واحد.

2- التخصر الثانوي Secondary constriction، أو «موقع تنظيم النوية nucleolar organizing zone» حيث يتم خزن الشفرة الوراثية لصنع النوية في هذا الموقع، ففي حالة وجود خمس نويات في الخلية، فتوجد خمسة تخصرات ثانوية في «المجموعة الكروموسومية» كلها.

الكرومومير Chromomere:

هو جسم صغير ثخين نسبياً يقع على طول الكروموسوم كحبات المسبحة، تمثل التفاضات حلزونية على طول الكروموسوم وتختلف الكروموميرات في عددها وشكلها وطريقة توزيعها من كروموسوم لآخر.

تصنيف الكروموسومات

تصنف الكروموسومات الى:

- (1) كروسومات جسمية Somatic chromosomes التي تكون على هيئة أزواج، ويكون كروموسوماً كل زوج متماثلين من حيث الشكل والحجم وموقع السنترومير وعدد الجينات، لهذا تسمى أيضاً الكروموسومات المتماثلة Homologues chromosomes.
 - (2) كروسومات جنسية Sex chromosomes التي تكون مسؤولة عن تحديد الجنس، ويحمل الإنسان وكثير من الكائنات الحية زوجاً واحداً غير متماثل من الكروموسومات الجنسية، إذ يحمل أحد الكروموسومين الصفة الذكرية ويحصل الكروموسوم الآخر الصفة الأنثوية.
- يمكن تقسيم الكروموسومات -أيضاً- إلى ثلاثة أنواع حسب أشكالها وموقع السنترومير كما يأتي:

- (1) كروموسوم وسطي السنترومير Metacentric، ذراعاه متساويان لوجود السنترومير في الوسط.
- (2) كروموسوم غير وسطي السنترومير Submetacentric إذ ينحرف موقع السنترومير عن الوسط فيصبح أحد ذراعي الكروموسوم أطول من الذراع الآخر.
- (3) كروموسوم نهائي السنترومير Telocentric إذ يكون السنترومير بالقرب من طرف الكروموسوم فيبدو بشكل عصا ولهذا يسمى هذا النوع أحياناً «كروموسوم وحيد الذراع».

الكروموسومات الخاصة Special chromosomes

تحوي بعض خلايا عدد من الكائنات الحية على كروموسومات يختلف شكلها

وحجمها اختلافاً واضحاً عن الكروموسومات الموجودة في الخلايا الجسمية الأخرى
لنفس الكائن الحي، ومنها:

(1) كروموسومات الغدة اللعابية Polytene chromosomes

توجد هذه الكروموسومات في أنسجة الغدة اللعابية ليرقات الحشرات ثنائية الأجنحة
وفي بعض مناطق القناة الهضمية والقصبات الهوائية لنفس اليرقة وتظهر مع أول
مراحل الانقسام الاعتيادي وبطول يزيد مائة مرة عن طول كروموسوم مماثل في خلية
اعتيادية، ويتكون كل كروموسوم من كروماتيدين متصلين وملتفين حول بعضهما البعض
طولياً مما يؤدي إلى تكون مناطق غامقة ومناطق فاتحة -على التوالي- وعلى طول
الكروموسوم.

تدعى المناطق الغامقة «الحزم Bands» التي تتكون من مناطق غنية
بالكروماتين، بينما تدعى المناطق الفاتحة «بين الحزم Interbands» التي تتكون من
مناطق قليلة الكروماتين.

(2) الكروموسومات الفرشائية Lamphrush chromssomes

توجد هذه الكروموسومات في نوى الخلايا المولدة للبيوض Oocytes في الفقرات،
وتتميز الكروموسومات بمحورها الوسطي الذي تمتد منه سلسلة من العروات أو
العقالات الجانبية فيبدو الكروموسوم كفرشاة لتظيف القناني ويظهر هذا النوع من
الكروموسوم أثناء المرحلة الانفراجية للطور التمهيدي في الانقسام الاختزالي، ويزيد
طوله عن طول كروموسومات الغدة اللعابية.

الانحرافات الكروموسومية Chromosomal Aberrations

يحدث التغير في عدد الكروموسومات وتركيبها وسلوكها نتيجة تعرضها لمؤثرات
خارجية أو مؤثرات داخلية. ويمكن تقسيم هذه التغيرات إلى:

(أ) التغير في عدد الكروموسومات الذي يمكن تقسيمه إلى:

(1) التغير في تعدد المجموعات الكروموسومية Euploids

الذي يشمل تضاعف مجموعة كروموسومية واحدة أو أكثر من كروموسومات الكائن

الحي نتيجة الاخفاق في انفصال الكروموسومات عن بعضها في الطور الانفصالي للانقسام الاعتيادي نتيجة عدم تكون ألياف المغزل، ويمكن استعمال هذا النوع من التغيرات لتحسين حجم أثمار بعض النباتات ونوعها، ولكن لا يمكن تحسين أنواع الحيوان لعدة أسباب أهمها قلة عدد الخلايا الجرثومية التي لها القابلية على إنتاج كائنات حية في الحيوان مقارنة مع كثرتها في النبات.

(2) التغير في عدد كروموسومات المجموعة الكروموسومية Aneuploidy

الذي يشمل إضافة أو فقدان كروموسوم واحد أو أكثر من المجموعة الكروموسومية مما يؤدي إلى تكون عدد غير متوازن من الكروموسومات داخل الخلية الحية، ويمكن تقسيم هذا التغير إلى:

- (1) التغير الفردي Monosomic الذي يتم فيه إضافة كروموسوم واحد متماثل من المجموعة الكروموسومية.
- (2) التغير الثلاثي Trisomic الذي يتم فيه إضافة كروموسوم واحد متماثل من المجموعة الكروموسومية.
- (3) التغير الكلي Nullisomic الذي يتم فيه فقدان زوج من الكروموسومات المتماثلة من المجموعة الكروموسومية.
- (4) التغير الرباعي Tetrasomic الذي يتم فيه إضافة زوج من الكروموسومات المتماثلة من المجموعة الكروموسومية.

(ب) التغير في التنظيم الكروموسومي Chromosomal Structural Aberration

يحدث تغير في تركيب الكروموسوم مما يؤدي إلى إعادة تنظيم محتوياته، ويمكن تقسيم هذا النوع من التغير إلى أربعة أنواع هي:

- (1) الحذف Deletion ويشمل فقدان قطعة من الكروموسوم.
- (2) التكرار Duplication ويشمل تكرار قطعة من الكروموسوم مرتين.
- (3) الارتداد Inversion ويشمل التواء قطعة من الكروموسوم بمقدار 180°.

(4) الانتقال Translocation ويشمل اتصال قطعة كروموسوم بقطعة أخرى غير مماثلة لها.

عدد الكروموسومات

يكون عدد الكروموسومات زوجياً (2 ن 2X) في جميع خلايا الكائنات الحية التي تتكاثر جنسياً، وإن كانت الكميات تحوي نصف ذلك العدد الزوجي (1 ن 1X) ويختلف العدد الكروموسومي من كائن لآخر كما في الجدول الآتي:

الكائن الحي	العدد الكروموسومي	الكائن الحي	العدد الكروموسومي
الإنسان	46	الدجاج	78
القرد	54	الحصان	66
الأرنب	44	القط	38
الخنزير	40	الجمال	78
الكلب	78	ذبابة الفاكهة	8
البقر	60	التبغ	24
فطر البنسيليوم	4	البازلاء	14

ويمثل زوج واحد الكروموسومات الجنسية المسؤولة عن تحديد الجنس، بينما تعد البقية كروموسومات جسمية .

الانقسام الخلوي في الخلايا بدائية النواة

تنقسم البكتريا انقساماً مباشراً وبسيطاً بالانشطار الثنائي Binary fission حيث توجد المعلومات الوراثية genome في خلية البكتريا على شكل حلقة مفردة من جزيئة DNA مزدوجة الخيط double-stranded ترتبط في نقطة واحدة بالغشاء البلازمي للخلية من الداخل، ويتم تضاعف هذه المعلومات الوراثية في وقت مبكر من حياة الخلية وقبل بدء الانقسام، حيث توجد منطقة خاصة على الكروموسوم تسمى منشأ التضاعف

replication origin تحتوي على مجموعة من الأنزيمات تقدر بأكثر من (22) أنزيماً مختلفاً تقوم بالعمل على تكوين نسخة كاملة مطابقة من جزيئة د ن آ.

وبعد اكتمال عمل الأنزيمات حول جزيئة د ن آ الحلقية تصبح هناك نسختان متطابقتان من المعلومات الوراثية داخل خلية ترتبط جنباً إلى جنب إلى الغشاء البلازمي من الداخل. وبعد نمو خلية البكتريا وبلوغها الحجم المناسب الذي يحفز بدء عملية الانقسام السايكوبلازمي التي تبتدئ بتكوين مواد الجدار الخلوي والغشاء البلازمي الجديدة ووضعها في المنطقة الفاصلة بين نسختي د ن آ DNA المتجاورتين وهذه تمثل بداية عملية الانشطار الثنائي Binary fission للخلية ، وكلما أضيفت مواد جديدة في هذه المنطقة كلما زاد نمو وتخصر الغشاء البلازمي نحو الداخل ثم تضيق معه الخلية تدريجياً إلى أن تنقسم إلى نصفين متساويين تقريباً (إن بدء عملية التراكم والتقلص في الموقع الكائن بين حلقتي د ن آ DNA تسمح بانتقال كل حلقة إلى خلية جديدة وبذلك تكون صفاتهما الوراثية متماثلة) وبعد اكتمال تخصر الغشاء البلازمي نحو الداخل واتصال جميع النقاط في مركز الخلية لتتكون خليتان جديدتان، ويتكون بعد ذلك جدار خلوي جديد حول الغشاء البلازمي من الخارج وتتكون جميع التراكيب الموجودة أصلاً في الخلية الأمية، في الخليتين الجديدتين اللتين تشابهان خلية الأم الأصلية تماماً، وبصورة عامة فإن عملية انقسام نواة البكتريا تحدث دون تكوين المغزل ولا ظهور الكروموسومات (لا ينقسم د ن آ البكتريا إلى أجزاء)، وتدعى عملية الانقسام الخلوي في الخلايا بدائية النواة باسم «الانقسام غير الاعتيادي Amitosis».

الانقسام الخلوي في الخلايا حقيقية النواة

تعد الخلية حقيقية النواة كبيرة الحجم مقارنة بخلية البكتريا الصغيرة، كما تحتوي على كمية كبيرة من المعلومات الوراثية توجد على شكل جزيئة طويلة خيطية من مزدوجة الحلزونة double-stranded أو duplex DNA يرافقها البروتين الذي يرتبط معها مكوناً معقداً داخل الكروموسوم، وقد قام بملاحظة الكروموسوم أول مرة عام

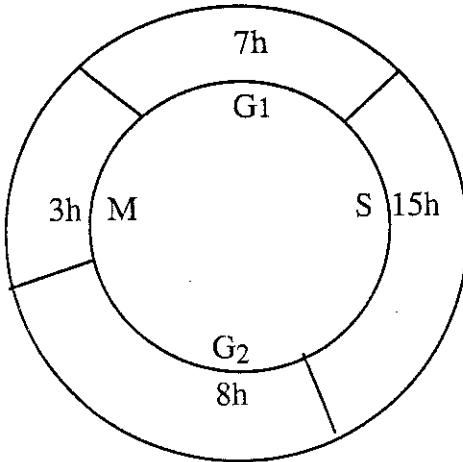
1882 عالم الأجنة الألماني والتر فيلمنك Walther Fleming في أثناء متابعته لعملية الانقسام الخلوي في Salmander Larvae، إذ لاحظ وجود خيوط دقيقة داخل الأنوية تبدو منقسمة طويلاً وقد أطلق فليمنك مصطلح الانقسام الخيطي Mitosis على هذا الانقسام (اشتقاقاً من الكلمة الإغريقية Mitos التي تعني خيطاً) ، الذي يعد عملية معقدة.

The Cell Cycle الدورة الخلوية

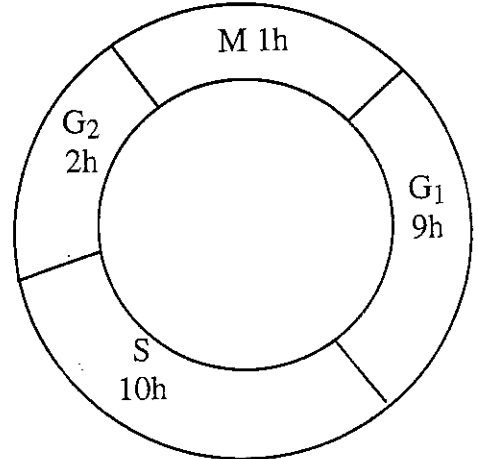
وتتضمن كافة العمليات المرافقة لعملية الانقسام الخلوي سواء كانت قبل بدء الانقسام أو خلاله أو بعده، هذه العمليات تؤدي إلى تكوين خلايا جديدة تحمل الصفات الوراثية للأباء عن طريق تضاعف المعلومات الوراثية genome ومن ثم توزيعها على الخلايا الجديدة بصورة متساوية وتشمل الدورة الخلوية كافة مراحل الانقسام بما فيها الطور البيني Interphase الواقع بين كل انقسامين متتاليين والذي يعد الطور الفعال من الدورة الخلوية ويأخذ معظم الوقت الذي تستغرقه الدورة الخلوية والبالغ 15 - 35 ساعة تقريباً في معظم الخلايا حقيقية النواة (18 - 24) ساعة في معظم الخلايا الحيوانية) وقد يطول زمن الدورة الخلوية إلى أيام أو حتى أسابيع أو قد يقصر ليصبح 20 - 30 دقيقة وحتى أقل من ذلك في الخلايا بدائية النواة (شكل 10 - 5).

وتتكون الدورة الخلوية في الكائنات ذات الخلايا حقيقية النواة من المراحل الآتي حسب المخطط:

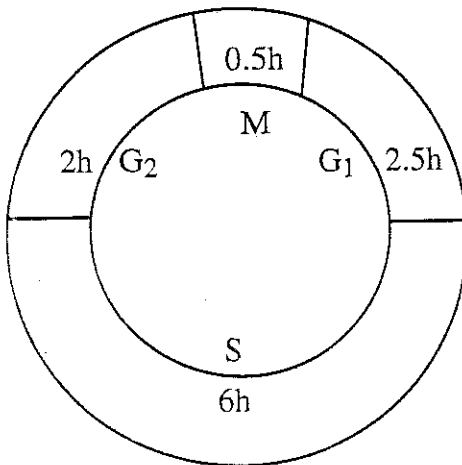
$G_1 \rightarrow S \rightarrow G_2 \rightarrow M \rightarrow c$



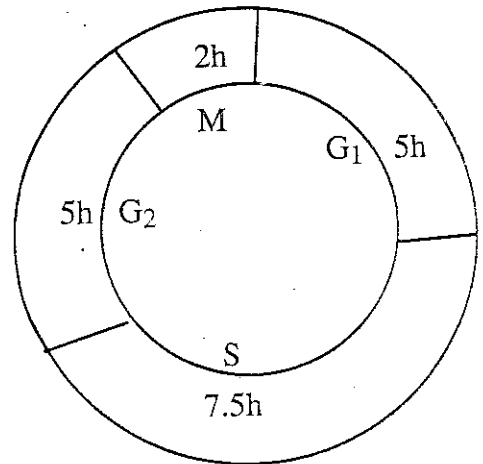
الخميرة Yeast



خلية كبد الجرذ



الههمستر الصيني Chinese hamster



الفاصوليا Vicia faba

شكل (5-10) الدورة الخلوية لأربعة كائنات حية

1- طور النمو الأول: First Growth Phase (G₁)

وفي هذا الطور الذي يمثل بداية المرحلة البيئية Interphase تحدث زيادة في نمو الخلية (الناجمة عن الانقسام السابق) تستمر حتى بدء طور البناء (S) وهو يمثل الفترة

الزمنية الفاصلة بين انتهاء الانقسام الخلوي وبدء مرحلة تضاعف المعلومات الوراثية (M) خلال مرحلة الطور البيني. يأخذ هذا الطور وقتاً طويلاً من زمن الدورة الخلوية وهو المسؤول عن إطالة أو تقصير زمن الدورة الخلوية، وتقوم الخلية خلاله بفعالياتها الاعتيادية كتكوين ر ن آ RNA والبروتين فضلاً عن زيادة النمو.

2- طور البناء : Synthesis Phase (S)

وهو الطور الذي يتم فيه تضاعف المجموع الوراثي للخلية genome وذلك ببناء نسخة مطابقة ومكررة للمعلومات الوراثية والموجودة في الكروموسومات أي تضاعف الكروموسومات، ويمثل أطول طور ضمن الدورة الخلوية ويوجد داخل الطور البيني Interphase.

3- طور النمو الثاني : Second Growth Phase (G₂)

وهو الطور الذي يتم فيه التحضيرات اللازمة لفصل نسختي المعلومات الوراثية المضاعفة عن بعضها ويتم خلاله تضاعف العضيات الساييتوبلازمية، وتكثف الكروموسومات عن طريق التفافها الحلزوني، وتتكون الأنابيبات الدقيقة microtubules الخاصة بالمغزل، ويمثل هذا الطور المرحلة الفاصلة الثانية بين مرحلة تضاعف المعلومات الوراثية (S) ومرحلة بدء الانقسام الخيطي M ويدخل ضمن مرحلة الطور البيني وفي نهايته.

4- طور الانقسام الخيطي: Mitosis (M)

ويمثل طور انقسام النواة الذي يتم خلاله تكوين جهاز الأنابيبات الدقيقة (جهاز المغزل) ليرتبط بالكروماتيدات الأختية عند نقطة السنترومير ويبدأ بتحريكها. وبذلك تبدأ الخطوة الأولى في فصل نسختي المعلومات الوراثية المضاعفة.

5- طور انقسام الخلية: Cytokinesis (C)

ويسمى أيضاً طور انقسام الساييتوبلازم. ويتم خلاله انقسام الخلية فيزيائياً إلى خليتين جديدتين متساويتين تقريباً حيث يصاحبها انقسام الساييتوبلازم أيضاً، وقد لا ينحل الغلاف النووي في خلايا بعض الكائنات الحية كالفطريات وبعض الابتدائيات

Protists الأخرى، مما يجعل الانقسام الخيطي (M) محصوراً بالنواة فقط، فتتكون نواتان جديدتان نتيجة للانقسام الخيطي ثم يتبعها بعد ذلك انقسام الساييتوبلازم (C) لتتكون خليتان كل خلية تحتوي على نواة واحدة. إلا أن هذا الفصل بين انقسام النواة والساييتوبلازم لا يحدث في معظم الابتدائيات Protists وكذلك خلايا النبات والحيوان مما يجعل عملية الانقسام الخلوي تستمر خطوة واحدة ويقل معها الخطأ في عملية فصل الكروموسومات لحدوثها في حيز أكبر كما تقل كمية الطاقة المصروفة عليها.

وبصورة عامة فإن عملية انقسام الخلية لا تستغرق وقتاً كبيراً مقارنة بوقت الدورة الخلوية فهي تأخذ ساعة واحدة من الدورة الخلوية للإنسان البالغة (24) ساعة، ومن الدورة الخلوية لخلايا الكبد البالغة 22 ساعة، ويتضمن انقسام الخلية (M) انفصال محتويات الخلية المضاعفة إلى مجموعتين تنتقل كل مجموعة إلى خلية جديدة بعد انقسام الخلية الأصلية فيزيائياً ومعها الساييتوبلازم إلى خليتين جديدتين في طور (C)، وقد تركز الاهتمام بهذين الطورين وبشكل خاص طور الانقسام الخيطي (M) وما يرافقه من حركة معقدة للكروموسومات أثناء عملية الانفصال ولأجل متابعة هذه العملية بدقة وتسهيلاً للدراسة تم تقسيم هذا الطور (M) إلى أربع مراحل ثانوية تتضمن الطور التمهيدي Prophase، والطور الاستوائي Metaphase، والطور الانفصالي Anaphase، والطور النهائي Telophase. وهذه المراحل ليست منفصلة عن بعضها وإنما متداخلة وتجري عملية الانقسام بأكملها عملية واحدة تتبين كثيراً فيما بين الأنواع الخاصة بالفطريات وبعض الابتدائيات Protists الأخرى، وتظهر تبايناً قليلاً بين أنواع النباتات والحيوانات والتي تتضمن عملية الانقسام في خلاياها.

الطور البيني Interphase

يمثل هذا الطور مرحلة التحضيرات اللازمة لعملية انقسام الخلية ويتضمن الفترة الزمنية الفاصلة بين كل انقسامين متتاليين ويضم المراحل (G₂, S, G) والتي يحدث خلالها ما يلي.

1- بعد النمو الابتدائي للخلية خلال مرحلة (G1)، يتضاعف كل كروموسوم مكوناً نسختين متطابقتين (تسمى الكروماتيدات الأختية) خلال مرحلة (S) وكما موضح في الشكل (10 - 6). التي تبقى مرتبطة مع بعضها عند نقطة التحضر الأولي أو السنترومير Centromer وهي عبارة عن سلسلة خاصة من د ن آ ذات (220) نيوكليوتايد يغطيها أو يتصل بها قرص من البروتين الفعال Kinetochore. وفي نهاية مرحلة البناء (S) فإن كل كروموسوم مضاعف يحتوي على كروماتيدين أختين مرتبطتين مع بعضها في السنترومير، وتكون الكروموسومات ممتدة وغير ملتفة (مكثفة) uncoiled وغير مرئية بالمجهر الضوئي.

ب- تبدأ الكروموسومات عملية التكثف Condensation والالتفاف الحلزوني خلال مرحلة (G2) لتعطي أجساماً خيطية متراسة أقل طولاً وأكثر سمكاً كما تبدأ الخلايا خلال مرحلة G2 بتجميع جهاز المغزل الذي سوف يستعمل فيما بعد لتحريك الكروموسومات باتجاه الأقطاب المتضادة للخلية، وفي الخلايا الحيوانية يوجد مركز تنظيم الانبيبات الدقيقة النووية (organizing center nuclear microtubule) الذي يدعى الجسيمات المركزية Centrioles، أما النباتات والفطريات فلا يوجد بها أجسام مركزية - وفي هذه المرحلة (G2)، تباشر جميع الخلايا بالبناء الواسع لبروتين التيوبولين tubulin اللازم لتكوين الأنبيبات الدقيقة Microtubules الخاصة بالمغزل.

الانقسام الخيطي (الاعتيادي) Mitosis

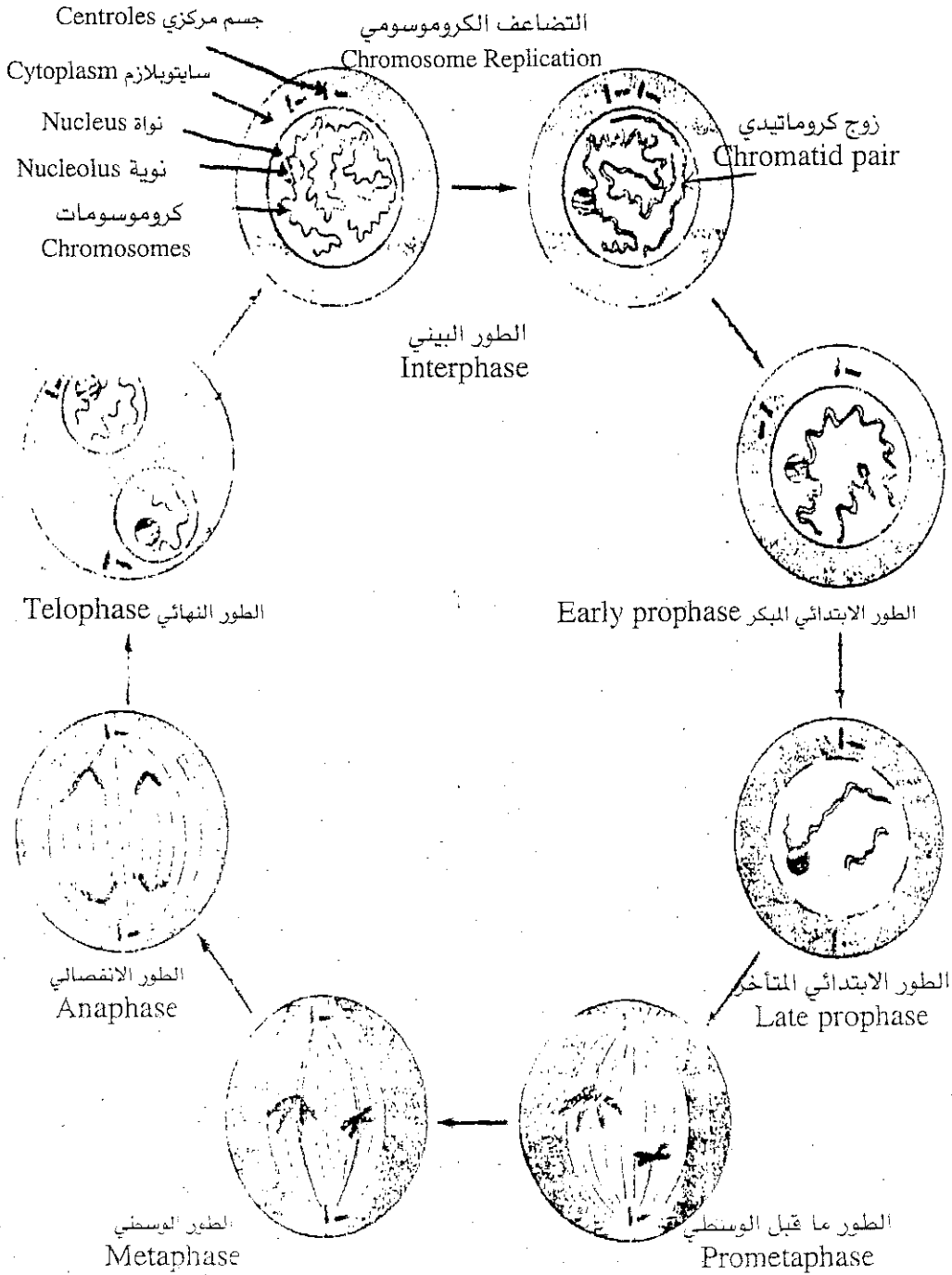
1- الطور التمهيدي: Prophase

وهو الطور الذي يتكون فيه الجهاز الخيطي Mitotic Apparatus أو جهاز المغزل فعند تكثف الكروموسومات خلال مرحلة G2 ووصولها إلى نقطة يمكن عندها مشاهدتها تلك الكروموسومات بالمجهر الضوئي، وهذه النقطة تمثل بداية المرحلة الأولى (الطور التمهيدي) من الانقسام الخيطي حيث تستمر عملية تكثف الكروموسومات خلال هذه المرحلة حتى تصبح بشكل أجسام قضيبية قصيرة وسميكة في نهاية هذه المرحلة. وتتوقف عملية بناء ribosomal RNA بسبب تكثف ذلك الجزء من الكروموسوم

الحامل لجينات rRNA وتوقف نشاطه، كما تضمحل النوية التي كانت واضحة، وتتجمع شبكة الانبيبات الدقيقة لتكوين جهاز المغزل الذي يستخدم في فصل الكروماتيدات البنتية، وفي بداية هذا الطور تبدأ حركة الجسيمات المركزية Centrioles في الخلايا الحيوانية حيث يبتعد الزوجان عن بعضهما بعد تكوين محور من انبيبات دقيقة بينهما تسمى خيوط المغزل Spindle fibers ويستمر الابتعاد حتى وصولهما الأقطاب المتضادة للخلية مع استمرار اتصالهما بجسر من الأنبيبات الدقيقة يسمى جهاز المغزل (Spindle Apparatus) الذي يمتد بينهما، ويوجد مثل هذا الجهاز من خيوط المغزل من الخلايا النباتية أيضاً وبدون وجود الجسيمات المركزية .

وينحل الغلاف النووي ويضمحل وتندمج مكوناته مع عناصر الشبكة الأندوبلازمية خلال تكوين جهاز المغزل وبذلك تمتد خيوط المغزل بشكل مستقيم وعمودي من أحد أقطاب الخلية إلى الآخر.

وعند وصول الأجسام المركزية إلى أقطاب الخلية الحيوانية فإنها تكون نظاماً شعاعياً من الأنبيبات الدقيقة نحو غشاء الخلية إلى الخارج لتقوية الاجسام المركزية يسمى النجميات (asters) لم تعرف وظيفته تماماً ومن المحتمل أن تكون وظيفة ميكانيكية لتصلب نقطة ارتباط الأنبيبات الدقيقة خلال عملية السحب النهائي لخيوط المغزل ، أما الخلية النباتية فهي ذات جدار خلوي صلب ولم تشاهد الجسيمات المركزية ولانظام الaster فيها وتتكون مجاميع الأنبيبات الدقيقة باستمرار مع استمرار الطور التمهيدي بحيث تتكون مجموعتان من الانبيبات الدقيقة من كل سنتوروميير متجهة نحو الأقطاب المتضادة وتستمر بالامتداد والنمو حتى تكون كل منهما اتصالاً مع أحد أقطاب الخلية لتصل (تربط) البروتين الفعال Kinetochore الخاص بكل زوج من الكروماتيدات الأختية بقطبي المغزل وكما في الشكل (10-6) وبسبب ارتباط مجموعتي الأنبيبات (المتصلتين بالقطبين المتضادين في الخلية)، بالجهتين المتضادتين من السنتوروميير فإن تأثيرها يكون على مسك أحد الكروماتيدات الأختية باتجاه أحد أطراف الخلية والكروماتيد الأختي الآخر باتجاه الطرف الآخر.



شكل (6-10) الانقسام الاعتيادي المايوتيزي

2- الطور الاستوائي: Metaphase

وفي هذا الطور تصطف أزواج الكروماتيدات الأختية (الكروموسومات) في مركز الخلية ، حيث تنتظم هذه الكروموسومات على شكل حلقة على امتداد المحيط الداخلي لمركز الخلية ، والخط الخيالي المار خلال هذه الحلقة يسمى الصفيحة الاستوائية Metaphase plate الذي يدل على مكان الانقسام الذي سيحدث فيما بعد ، وبالتحديد يمثل المكان الذي تتصل به الأنبيبات الدقيقة بالبروتينات الفعالة المحيطة بالسنتروميرات، وتنتظم جميع الكروموسومات على الصفيحة الاستوائية، بينما تنتظم سنتروميراتها بشكل دقيق على صورة حلقة متساوية الأبعاد عن قطبي الخلية ويمتلك كل كروموسوم اثنين من ال Kinetochores يرتبط كل واحد منها بمنطقة السنترومير لكل كروماتيد، ويرتبط أحد الأنبيبات الدقيقة أو أكثر بلك ويمتد Kinetochore نحو القطب المضاد للخلية ، وينشط كل سنترومير في نهاية هذا الطور إلى اثنين ولذلك يسمى هذا الطور: بطور انقسام السنتروميرات ، مما يؤدي إلى تحرر كل كروماتيد عن مثيله.

3- الطور الانفصالي: Anaphase

وهو أقصر أطوار انقسام الخلية وتنفصل فيه الكروماتيدات الأختية عن بعضها بسحبها بواسطة مجاميع الأنبيبات الدقيقة (خيوط المغزل) إلى القطبين المتضادين للخلية مرة واحدة (حالا) وبسرعة . وتقع الحركتان التاليتان باتجاه القطبين في وقت واحد .

4- الحركة الجزئية للأقطاب : The poles move apart

تتحرك خيوط المغزل الانبوية حركة انزلاقية (ترحلية) بسيطة واحد بعد الآخر (وتتضمن هذه الحركة الانزلاقية استهلاك طاقة على شكل ATP لتحريك جسور خيطية مكونة من بروتين الداينين (dynein) تقع بين الخيوط المغزلية) وبسبب ارتكاز طرفي كل زوج من الأنبيبات الدقيقة بالقطبين المتضادين فإن هذه الحركة تدفع الأقطاب جزئياً ونظراً لاتصال الكروموسومات بتلك الأقطاب فإنها تتحرك جزئياً أيضاً . وبهذه العملية فإن الخلية المحاطة بغشاء مرن تصبح متطاولة بوضوح .

5- حركة السنتروميرات نحو الأقطاب The centromeres move towards the poles

تقتصر الأنبيبات الدقيقة كلما أزيلت وحدات جديدة من بروتينات التيوبيولين

(tubulin) من أطرافها القطبية (polarends) وهذا يؤدي إلى سحب (انتزاع) الكروماتيدات الأختية (الكروموسومات) المتصلة بها باتجاه الأقطاب المتضادة للخلية شيئاً فشيئاً مع استمرار إزالة وحدات التيوبولين مما يؤيد ذلك هو أن سمك الأنابيب لا يتغير مع استمرار العملية.

6- الطور النهائي: Telophase

يسمى طور إعادة تكوين النواة، حيث تحدث في هذا الطور تغيرات معاكسة لما حصل في الطور التمهيدي، فيعد وصول مجموعتي الكروموسومات إلى الأقطاب المتضادة للخلية، يتفكك جهاز المغزل والأنابيب الدقيقة إلى وحداتها الأولية من بروتين النيوبيولين الذي يستخدم في بناء الهيكل السائيتوبلازمي في الخلايا الجديدة، كما تحاط كل مجموعة كروموسومية بغلاف نووي ، ثم تبدأ الكروموسومات بفك حلزنتها وتحول بعض الأجزاء فيها من الشكل المكثف Condensed إلى الشكل الممتد extended uncoil ليصبح أكثر متداداً وأكثر فعالية فتظهر قدرتها الجينية gene expression مرة أخرى مبتدئة بجينات rRNA ثم تتكون النواة مرة ثانية في الخلية الجديدة.

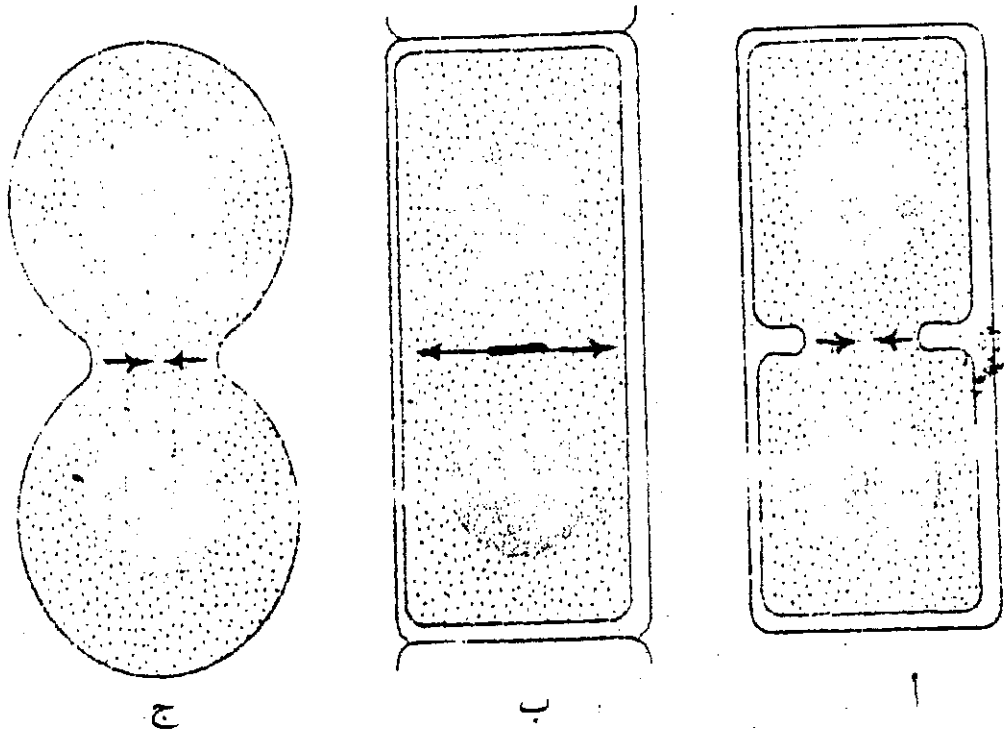
انقسام السائيتوبلازم: Cytokinesis(C)

وهو الطور الذي يحدث فيه انقسام السائيتوبلازم بعد انقسام النواة لتكوين خليتين منفصلتين تماماً (كل منهما تحتوي على نواة وسائيتوبلازم مستقل).

فبعد اكتمال الطور النهائي يكتمل انقسام النواة (M) وتصبح المعلومات الوراثية للخلية مكررة بنسختين ، كل نسخة في نواة موجودة في أحد أقطاب الخلية ومع تواصل هذه العملية تتواصل عمليات أخرى يصعب مشاهدتها بالمجهر الضوئي تتضمن تضاعف وتشكل العضيات السائيتوبلازمية كالمايتوكندريا مثلاً في المناطق التي سوف تفصل لتكون خلايا جديدة وهذا التضاعف والتشكل في العضيات السائيتوبلازمية يحدث قبل مرحلة انقسام السائيتوبلازم Cytokinesis وغالباً ما يكون في طور البناء (S) أو طور النمو الثاني (G2) في المرحلة البينية Interphase.

وبعد اكتمال الانقسام الخيطي (M) يتم انقسام السائيتوبلازم (C) أيضاً في معظم

الخلايا وتتكون عندئذ خليتان مستقلتان . وتباین عملية انقسام الساييتوبلازم بأنواع الخلايا إلا أنها بشكل عام تتبع ثلاثة نماذج عامة كما موضح في الشكل (7-10).



شكل (7-10) أنواع الانقسام الساييتوبلازمي

أ - التخصر (في خلايا الحيوان)

ب - تكون الصفيحة الوسطى (في خلايا حقيقية عالية)

ج - تكون جدار خلوي (الطحالب والفطريات)

يحدث النموذج الأول في الخلايا عديمة الجدار الخلوي ولا سيما الخلايا الحيوانية ويتضمن عملية التخصر الأخدودي Furrowing ، ويحدث النموذج الثاني في الخلايا ذوات الجدار الخلوي الصلب وخاصة خلايا النباتات الراقية بتكوين الصفيحة الخلوية Cell Plate التي تتطور من الداخل نحو الخارج، أما النموذج الثالث فيحدث في الطحالب والفطريات والبكتريا بتكوين جدار جديد بعد تخصر Invaginates الغشاء

البلازمي في المنطقة الوسطية من الخلية باتجاه الداخل فكلما زاد تضرع الغشاء البلازمي باتجاه مركز الخلية يتمدد الجدار الخلوي الجديد (بعد تراكم مواده الاولية في منطقة قريبة من الغشاء) حتى تلتقي امتداداته في المركز ليفصل الخلايا الجديدة عن بعضها .

1- انقسام الساييتوبلازم في الخلية الحيوانية

يتم الانقسام في الخلايا الحيوانية وبعض الخلايا الأخرى عديمة الجدار الخلوي بعملية التضيق الإخدودي Furrowing إذ يتضيق الغشاء البلازمي في المنطقة الوسطية وقريبة من غشاء الخلية بحزام متقلص من الخيوط البروتينية الدقيقة Microfilaments والمكونة من بروتين الأكتين Actin وكلما تحركت خيوط الأكتين داخل الحزام حركة انزلاقية تدريجية يصبح اخذود الانقسام Cleavage Furrow أكثر عمقاً ووضوحاً حول محيط الخلية كما موضح في الشكل (4-10).

وكلما صغر وضاق قطر الحزام حول محيط الخلية كلما زاد تضيق الساييتوبلازم وتعمق إخذود الانقسام حتى تتصل جميع النقاط العمودية على بقايا خيوط المغزل وتلتقي لتجعل الخلية منقسمة إلى خلتين.

2- انقسام الساييتوبلازم في الخلية النباتية

ينقسم الساييتوبلازم في خلايا النباتات الراقية ذات الجدار الخلوي الصلب Cell Wall يتكون الصفيحة الخلوية Cell Plate وذلك لأن صلابة الجدار الخلوي تقاوم تقلص خيوط الأكتين وتجهز المواد اللازمة لتكوين الصفيحة الخلوية من مصدرين هما الحويصلات الإفرازية Secretion Vesicles ذات المحتويات الكربوهيدراتية والدهنية المتكونة في جهاز كولجي، والعناصر الغشائية للشبكة الأندوبلازمية . وتندمج تلك المواد وتتوسع من المنطقة الوسطية لمركز الخلية نحو الخارج باتجاه الغشاء الخلوي حيث تتكون طبقة صلبة في المركز تتوسع تدريجياً نحو الخارج حتى تلامس المحيط الداخلي لغشاء الخلية المنقسمة وتلتحم معه لتكوين الصفيحة الخلوية التي تقسم الساييتوبلازم والخلية إلى اثنتين ، وتظهر العلامات الأولى لتكوين الصفيحة الخلوية خلال المراحل الأخيرة من الطور الانفصالي وبداية الطور النهائي من الانقسام الخيطي (M) للخلايا التي ينقسم فيها الساييتوبلازم مباشرة بعد انقسام النواة ، إذ تتجمع حويصلات إفرازية

صغيرة مليئة بالمواد الكربوهيدراتية والشحمية (مصدرها جهاز كولجي) في المنطقة الوسطية للخلية في خط استواء بقايا الشكل المغزلي (يحدث في هذا الوقت اختفاء أنيبات المغزل من القطبين وتتركز هذه الأنابيبات في المنطقة الوسطية فقط حيث يزداد عددها خلال الطور النهائي وأثناء تكون الصفيحة الخلوية) وتكون هذه الحويصلات عمودية على تلك الأنابيبات الوسطية ، كما تتجمع أيضاً العناصر الغشائية للشبكة الأندوبلازمية بجوار الصفيحة الخلوية المتكونة حديثاً على امتدادها مع عناصر الحويصلات والأنيبات (وهذه جميعاً تلتحم لتكون فيما بعد الغشاء البلازمي وطبقة الجدار الأولي الخارجية) وتسمى الفراكموبلاست Phragmoplast وعندما تصبح الفسحة الكائنة بين الخليتين الجديدتين مشربة بمادة البكتين Pectins تسمى الصفيحة الوسطى middle lamella وهذه تتطور فيما بعد بإضافة مواد جديدة وخاصة السيلولوز لتكون الجدار الأولي للخلية Primary Cell Wall .

وتعد المحتويات الكربوهيدراتية والشحمية للحويصلات الإفرازية المسؤولة عن تطور الصفيحة الخلوية إلى صفيحة وسطى ثم إلى جدار خلوي حيث تنفجر هذه الحويصلات على السطح الخارجي للأغشية البلازمية الجديدة المتكونة بين الخليتين الجديدتين ، فترسب محتوياتها من السيلولوز وأنصاف السيلولوز والبكتين والسكريات المتعددة الأخرى خارج الغشاء البلازمي لتكون الجدار الخلوي، بينما تلتحم بقايا هذه الحويصلات الممزقة مع الغشاء البلازمي لتزيد من حجمه .

التكاثر الجنسي واللاجنسي في الكائنات الحية

بعد مرور سنة واحدة على اكتشاف فليمينك Walther Fleming للكروموسومات عام 1882، وجد عالم الخلية البلجيكي بيندين Pierre Joseph Van Benden من خلال دراسته لخلايا دودة الاسكارس Ascaris بأن عدد الكروموسومات يختلف باختلاف نوع الخلايا ، إذ تحتوي الخلية الجنسية (الكميات) سواء كانت بيضة أو حيمناً على زوج واحد من الكروموسومات بينما تحتوي الخلية الجسمية البالغة على زوجين من الكروموسومات . واستنتج ما يأتي:

- 1- تحتوي كل خلية جنسية سواء كانت بيضة أو حيمن على مجموعة مفردة كاملة من كروموسومات مختلفة (n) . ويقال بأن الخلية أحادية المجموعة الكروموسومية ويطلق عليها مصطلح Haploid اشتقاقاً من الكلمة الإغريقية Haploos التي تعني واحد (one) .

2- تحتوي كل خلية جسمية في الفرد البالغ على مجموعتين كاملتين (مجموعة ثنائية) من الكروموسومات ($2n$) بحيث تحتوي هذه الخلية على نسختين متماثلتين من كل كروموسوم . ويقال بأن الخلية ثنائية المجموعة الكروموسومية ويطلق عليها مصطلح diploid اشتقاقاً من الكلمة الاغريقية diploos التي تعني اثنين two.

3- وجد أيضاً بأن عملية الالتحام الناتجة عن اتحاد خليتين جنسيتين (بيضة + حيمن) لتكوين خلية البيضة المخصبة (زايكوت) ثنائية المجموعة الكروموسومية تسمى عملية الإخصاب Syngamy أو Fertilization .

كما وجدت آلية أخرى معاكسة لعملية الإخصاب تسمى بالانقسام الاختزالي meiosis يتم خلالها انقسام النواة في الخلايا المولدة للكميات ثنائية المجموعة الكروموسومية وإنتاج كميات أحادية المجموعة الكروموسومية (أي اختزال عدد الكروموسومات إلى النصف) وبذلك يحافظ الانقسام الاختزالي على ثبات عدد الكروموسومات في الخلايا المختلفة وذلك باختزالها إلى النصف بعد تضاعفها في عملية الإخصاب.

وتتضمن عملية التكاثر الجنسي الإخصاب والانقسام الاختزالي معاً إذ تتعاقب العمليتان في الدورة الجنسية للخلية لإنتاج نسل جديد ذي أفراد تحمل جينات وراثية ترثها من الأبوين الاثنين معاً، فمثلاً يرث الإنسان جيناته من فردين أحدهما الأب بالحيمن ، والثاني الأم بالبيضة لإنتاج الجنين.

أما عملية التكاثر اللاجنسي فإنها تتضمن عملية انقسام للخلايا المفردة ينتج عنها أفراد ترث جيناتها جميعاً من أب واحد كما في حالة الانقسام الثنائي Binary Fission للبكتريا التي تنتج خلايا جديدة تحمل نفس صفات خلية الأم المنقسمة - كما إن معظم خلايا الابتدائيات Protists تتكاثر لاجنسياً باستثناء حالات الإجهاد Stress التي تجعلها تتحول إلى التكاثر الجنسي، وإن كثيراً من الكائنات الحية الراقية تستطيع التكاثر لاجنسياً. كما في حالة التكاثر الخضري للنباتات وعمليات التبرعم لكتل Budding off الخلايا الحيوانية التي تنمو بطريقة الانقسام الخيطي Mitosis لتكوين أفراد جديدة . إذ تحمل الأفراد الجديدة الناتجة عن التكاثر اللاجنسي نفس الصفات الوراثية الخاصة بخلية الأم الأصلية.

دورة الحياة الجنسية:

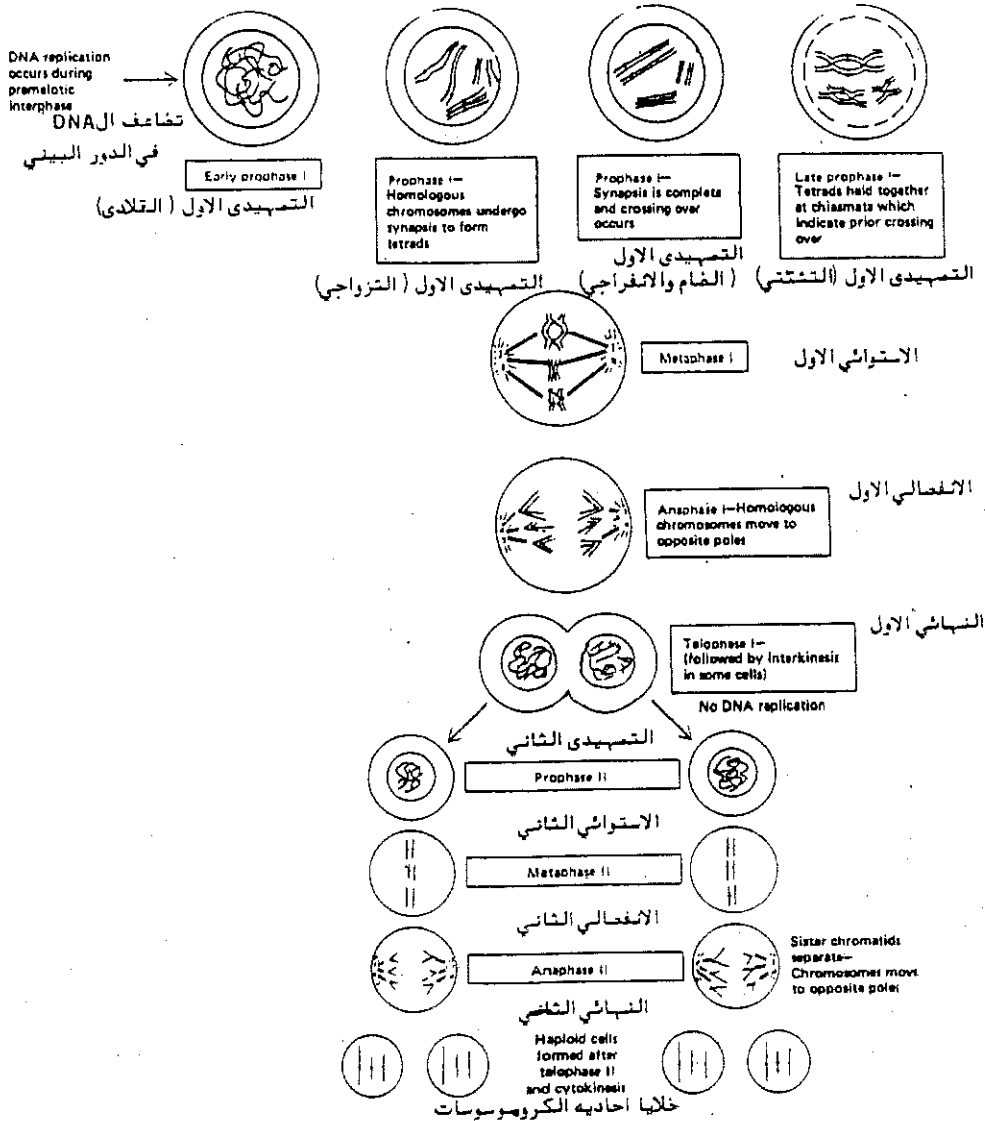
إن دورة الحياة الجنسية في الخلايا التي تتكاثر جنسياً تمر بالنمط نفسه

المضمن تعاقب الانقسام الاختزالي والإخصاب (عدد الكروموسومات الفردية haploid والثائية diploid) فمثلاً كل خلية في جسم الإنسان ذات 46 كروموسوم (ثائية العدد الكروموسومي diploid) وإن بعض الخلايا تولد خلايا جنسية فتعطي كميات، كل كميت ذو عدد فردي من الكروموسومات (23 كروموسوماً) haploid ، وتتحد هذه الكميات الذكرية والأنثوية (حيمن + بيضة) لتكوين بيضة مخصبة (زايكوت) ثائية العدد الكروموسومي (46) بعملية الإخصاب نتيجة التحام 23 كروموسوماً عن طريق حيمن الأب و23 كروموسوماً عن طريق بيضة الأم وإن الـ 23 كروموسوماً تكون مختلفة فيما بينها. وبعد عملية الإخصاب Syngamy وتكوين البيضة المخصبة (زايكوت) ثائية المجموعة الكروموسومية فإن خلايا الزايكوت تبدأ بالانقسام الخيطي Mitosis لتكون جسم الإنسان البالغ والمحتوي على نحو 100 ترليون خلية (الترليون يساوي واحداً مع 12 صفراً على يمينه بالنظام الأمريكي والفرنسي و 18 صفراً على يمينه بالنظام الانكليزي). أما في النباتات، فإن الخلايا المفردة لمجموعة الكروموسومات haploid الناتجة عن الانقسام الاختزالي تنقسم خيطياً mitosis مكونة طوراً مفرداً haploid phase متعدد الخلايا، فتتميز بعض الخلايا من هذا الطور إلى بيوض وحيامن، وأما الكائنات وحيدة الخلية مثل معظم الابتدائيات protists فإن الخلايا مفردة المجموعة الكروموسومية تمثل كميات والزايكوت الناتج قد تنقسم مباشرة انقساماً اختزالياً لتعطي كميات أو انقساماً خيطياً.

أما في حالة الإنسان فينتج الانقسام الاختزالي كميات (في الخلايا المولدة لها في الأعضاء الجنسية) تحتوي على مجموعة فردية من الكروموسومات haploid. وعندما تخضع الخلية الجسدية (2n) للانقسام الخيطي فإنها تكون خليتين جديدتين كل خلية ثائية المجموعة الكروموسومية (2n) تشبه خلية الأم بالكامل.

الانقسام الاختزالي

يعد الانقسام الاختزالي عملية متواصلة ومستمرة تجري عملية واحدة إلا أنه يقسم إلى مراحل لغرض تسهيل دراسته ومتابعة التطورات المتلاحقة في الخلية المنقسمة. ويجري في خلايا الكائنات ثائية المجموعة الكروموسومية diploid على مرحلتين تسمى الانقسام الاختزالي الأول ، والانقسام الاختزالي الثاني (شكل 10-8).



شكل (8-10) الانقسام الاختزالي

قد تم تقسيم كل مرحلة من المرحلتين مرة أخرى إلى أربع مراحل ثانوية هي الطور التمهيدي والاستوائي والانفصالي والنهائي كما حصل في حالة الانقسام الخيطي mitosis كما إن التطورات التي تحدث خلال الطور التمهيدي هي أكثر تعقيداً مما

يحدث في الطور نفسه في الانقسام الخيطي.

أ- الانقسام الاختزالي الأول :

1- التطور التمهيدي:

أ- المرحلة قبل القلادية (قبل الخيطية) **Preleptotene**

يصعب رؤية الكروموسومات في هذه المرحلة لكونها رفيعة جداً عدا كروموسومات الجنس التي تبدو كأجسام متضخمة.

ب- المرحلة القلادية (الخيطية) **Leptotene**

تظهر الكروموسومات بشكل خيوط رفيعة طويلة ملتفة ، وتتميز الكروموسومات في هذه المرحلة بالخاصتين الآتيتين:

1- ظهور انتفاخات حبيبية مختلفة الحجم عليها تدعى « الحبيبيات الصبغية أو الكروموميرات chermomers »، تكون أحجامها وعددها ومواقعها ثابتة على كل كروموسوم لكل نوع من الكائنات الحية ، مما يجعلها تستعمل كأداة تصنيفية.

2- يبدو كل كروموسوم بشكل خيط منفرد رغم كونه مكون من كروماتيدين متصلين بسنترومير واحد (إذ أن الحامض النووي معدوم الاكسجين تضاعف مسبقاً قبل بدء الانقسام الخيطي).

تتميز هذه المرحلة - أيضاً - بوجود النوية ، وتكون خيوط شعاعية قصيرة حول الأجسام المركزية في الخلية الحيوانية.

ج- المرحلة الازدواجية **Zygotene**

يتم الاقتراب والتجاور والالتفاف بين كل كروموسومين متماثلين طولياً- في هذه المرحلة- بعملية تدعى «الاقتران Synpasis» ولكن هذين الكروموسومين لا يلتصقان لوجود مسافة بينهما تقدر بـ 0.2500.15 مايكرومتر يحتلها معقد الاقتران Synaptonemal الذي يمكن مشاهدته خلال المجهر الإلكتروني ، والمكون من شبكة من الألياف البروتينية التي تساعد على تثبيت الكروموسومات الملتفة بنسق محكم مع

بعضها البعض خاصة في نقاط العبور Chiasmata فضلاً عن قيامه بالمساعدة في تكوين الاتحادات الجديدة بين الكروماتيدات في عملية العبور.

ليست للاقتران نقطة بداية معينة ، إذ يبدأ الالتفاف -في بعض الاحيان- من أحد طرفي الكروموسوم وينتهي بالطرف الآخر ، بينما يبدأ - أحياناً أخرى - من الوسط أو أية نقطة أخرى على جسم الكروموسوم.

د- المرحلة الضامة (التغلضية) Pachytene

وفيها يتم الالتفاف الكامل بين كل كروموسومين متماثلين ، وتصبح الكروموسومات أكثر تكثفاً وسمكاً وأقل طولاً وذات توزيع عشوائي داخل النواة، كما تشاهد النوية بوضوح.

تحدث عملية العبور Crossing Over -في هذه المرحلة- إذ تتكون الوحدة الاقترائية من كروموسومين متماثلين ، لكل منهما كروماتيدين أختين ، ويتم العبور بين هذه الكروماتيدات الأربعة من خلال نقطة العبور (كيازما Chiasma) وجمعها Chiasmata وتعني بالاعريقية تهجين ، إذ يتم قطع جزيء من كل كروماتيد بأنزيم نووي هاضم للدنا DNA ndonuclease ، ثم تتم تبادل الأجزاء المقطوعة مع بعضها البعض بمساعدة معقد الاقتران المكون من شبكة الألياف البروتينية تعمل كجسور خلال الفراغ بين الكروموسومين . ويتم لجمعها بأنزيم د ن أ اللاحم DNA ligase مما يؤدي إلى تكون تراكيب جديدة للجينات من خلال هذه الاتحادات الجديدة Recombinations.

يختفي معقد الاقتران في نهاية هذه المرحلة التي تستمر أياماً أو أسابيع وربما سنوات عكس المراحل السابقة التي تستغرق عدة ساعات فقط.

هـ- المرحلة التنافرية (الانفراجية) Diplotene

يحاول كل كروموسوم بالابتعاد عن مثيله (الملتصق به) إلا أن هذا الابتعاد يكون غير كامل بسبب ارتباط الكروماتيد الداخل من كل كروموسوم مع مثيله في الكروموسوم المماثل الآخر بنقاط العبور Chismata . وفي نهاية هذه المرحلة وبعد حدوث عملية عبور Crossing- Over للمادة الوراثية بين الكروماتيدين الداخلين للكروموسومين

المتماثلين عبر الكيازومات ، تنزلق هذه الكيازومات إلى أطراف الكروماتيدات كلما زاد الابتعاد بين الكروموسومين المتماثلين.

و- المرحلة التشتتية (مرحلة الحركة) Diakinesis :

يزداد ابتعاد الكروموسومات عن بعضها ويرتبط كل مروموسومين متماثلين مع بعضها عند أطرافها نتيجة لانزلاق الكيازومات في أثناء عملي الابتعاد. مما يؤدي إلى قلة عدد الكيازومات، كما تضحل النوية .

2- الطور ما قبل الاستوائي الأول : Prometaphase :

ويتميز هذا الطور بانحلال الغلاف النووي واختفائه ، كما تتكون الأنبيبات الدقيقة ويتشكل منها جهاز المغزل، ويحدث بالضبط كما في حالة الطور الاستوائي للانقسام الخيطي باستثناء اختلاف واحد أساسي، إذ يحصل في حالة الانقسام الاختزالي وهو ارتباط الأنبيبات الدقيقة للمغزل (المرتبطة بأحد أقطاب الخلية) بالجانب الخارجي من السنترومير عن طريق البروتين الفعال Kinetochore أما الجانب الداخلي من السنترومير نفسه فيكون ملتصقاً بالجانب الداخلي من السنترومير الآخر (في الكروموسوم المماثل) بعيداً عن أنبيبات المغزل، وهذا الالتصاق بين الكروموسومين (السنتروميرين) المتماثلين سببه الكيازومات الطرفية Terminal chiasmata التي تربط الكروموسومين ببعضها بإحكام عن طريق اتصال الكروماتيدين الداخليين لكلا الكروموسومين.

يختلف هذا الارتباط أحادي الجانب عن مثيله في حالة الانقسام الخيطي الذي ترتبط فيه أنبيبات المغزل بكلا الجانبين من السنترومير، ونتيجة للارتباط أحادي الجانب يصبح السنترومير الخاص بأحد الكروموسومين المتماثلين مرتبطاً (عن طريق البروتين الفعال) بأنبيبات المغزل في أحد أقطاب الخلية، بينما يرتبط السنترومير الخاص بالكروموسوم الثاني بالقطب الآخر من الخلية، كما تصل الكروموسومات إلى حدها الأقصى في التشنج والقص.

3- الطور الاستوائي Metaphase

في هذا الطور تنتظم أزواج الكروموسومات المتماثلة في وسط الخلية على الصفيحة الاستوائية للمغزل metaphase-plate وإن اتجاه أي كروموسوم من الكروموسومات المتماثلة على محاور المغزل يكون عشوائياً بحيث تكون حركة كل كروموسوم نحو أي قطب من أقطاب الخلية خاضعة للصدفة.

4- الطور الانفصالي الأول: Anaphase1

بعد اكتمال ارتباط خيوط المغزل تبدأ الأنبيبات الدقيقة لهذا الجهاز بالقصر تدريجياً مع تكسير الكيانات وسحب النستروميرات باتجاه القطبين، وبالنظر لارتباط هذه الأنبيبات بالبروتين الفعال الخاص بأحد جوانب السنتروميير (أي الارتباط أحادي الجانب) في كل كروموسوم من الكروموسومين المتماثلين، فإن السنتروميير بكامله يندفع نحو أحد أقطاب الخلية ومعه الكروماتيدين البنتين لكل كروموسوم (خلافاً لما يحدث في الانقسام الخيطي، حيث ينقسم السنتروميير إلى قسمين يفصل ارتباط أنبيبات المغزل بجانب السنتروميير). وبعد اكتمال انكماش أنبيبات المغزل (بفعل إزالة وحدات النيوبيولين) فإن كل قطب من أقطاب الخلية يحتوي على مجموعة كاملة مفردة haploid set من الكروموسومات تشتمل على كروموسوم واحد فقط من كل كروموسومين متماثلين - وإن وجود أي من الكروموسومين المتماثلين في أي قطب يخضع للصدفة لأن انتظام أزواج الكروموسومات المتماثلة على الصفيحة الاستوائية للمغزل يحدث بصورة عشوائية. وإن اندفاع الكروموسومات نحو القطبين يتم بقيادة جزء البروتين الفعال المسمى Kinetochore يتبعه ذراعا الكروموسوم.

5- الطور النهائي الأول: Telophase1

يبدأ هذا الطور مع وجود مجموعة كاملة haploied من الكروموسومات في كل قطب تتضمن كل مجموعة على كروموسوم واحد من الكروموسومين المتماثلين، ويشتمل كل كروموسوم على كروماتيدين متشابهين (لأن الكروموسوم يتضاعف قبل بدء الانقسام الاختزالي) مرتبطين سنتروميير واحد، ويكونان غير متطابقين وراثياً بسبب عملية

العبور التي حدثت في الطور التمهيدي الأول، وتختفي خيوط المغزل خلال هذا الطور وتظهر النويات والغلاف النووي وتتحول الكروموسومات إلى اشكال غير مكثفة (ممتدة) وقد تتكون الأغشية الفاصلة بين النواتين الجديدتين أو قد تواصل كلتا النواتين عملية الانقسام الاختزالي الثاني لتكون أربع أنوية في كل خلية ثم تتكون الأغشية الفاصلة فيما بعد وهذه الحالة الأخيرة هي السائدة في معظم الخلايا.

وبعد فترة متباعدة في طولها يحدث الانقسام الاختزالي الثاني الذي غالباً ما يحدث بعد مرحلة بينية ثانية (Interphase) وقد يتبع الانقسام الأول انقسام للسايتوبلازم أو لا.

ب- الانقسام الاختزالي الثاني

يوصف هذا الانقسام بكونه انقساماً خيطياً mitosis لأن المراحل مشابهة لما يحدث في الانقسام الخيطي بالضبط، إذ يفصل الكروماتيدان الأخريان لكل كروموسوم عن بعضهما وتتكون أربع أنوية تحتوي كل منها على مجموعة كاملة haploid من الكروموسومات، وغالباً ما يتبعها بصورة مباشرة انقسام السايتوبلازم Cytokinesis ، لتكوين أربع خلايا منفصلة كل منها تجتوي على نصف العدد الأصلي من الكروموسومات (In) وقد تعمل بشكل مباشر كميات جنسية كما يحدث في الخلايا الحيوانية، أو قد تنقسم خيطياً mitosis كما يحدث في الخلايا النباتية والفطرية وكثير من الابتدائيات Protists لتعطي عدداً كبيراً من الكميات.

مراجع الفصل العاشر

- Benavente, R. et al, Cell, 41 (1985) 177.
- Blackburn, E.M., Cell, 37 (1984) 7.
- Blobel, G., Proc.. Natl. Acad. Sci., 82 (1985) 8527.
- Brown, S.W., Science, 151, (1966) 417.
- De Robertis, E.M., Cell , 32 (1983) 1021.
- Feldherr, C.M. et al, J. Cell, Biol., 99 (1984) 2216.
- Foe, V. and Alberts, B., J. Cell Bio l., 100 (1984) 1623.
- Franke, W.W. et al, J. Cell Biol., 91 (1981) 39.
- Hieter, P. et al, Cell, 42, (1985) 913.
- Kalderon, D. et al, Nature, 311, (1984) 499.
- Kornberg, R.D., Naturc. 292 (1981) 579.
- Lanford. R.E. et al.. Cell. 46 (1986) 575.
- Marsden. M.P.F. and Laemmli. U.K., Cell. 17 (1984) 414.
- Mckeon. F.D. et al, Nature, 319 (1986) 463.
- Ris, H. and Witt. P.L., Chromosoma, 82 (1981) 153.
- John. S., The Cell. 1995. Cyandric Ltd., New York, USA.
- Roth. I. and Sly. W., Cell Biology. 1998. Penguin Books. New York. USA.

الفصل الحادي عشر

شيخوخة الخلية والخلود

شيخوخة الخلية والخلود

شيخوخة الخلية في المختبر

الخلية المستغنى عنها

التغذية

الشيخوخة المتأخرة

العقارات المنشطة لحيوية الإنسان

نبات الجنسغ

الغذاء الملكي

فيتامين E

الحقن بالهرمونات واتباع (حمية غذائية) معينة

التجميد ومحاولة البقاء على قيد الحياة

شيخوخة الخلية والخلود

إن حقائق الحياة والموت ليست دقيقة واضحة الملامح والمعالج، حتى عندما يتم تفسيرها رقمياً، إذ يتم تداول معنى الحياة والموت على نطاق واسع في مجال الطب وعلوم أمراض الإنسان وعلم الأحياء الخاص بأشكال الحياة الأخرى، وعلمي السلوك والتطور البشريين، ورغم أن البشر سيموتون، فإن البكتريا والأميبا ستستمر في الخلود من خلال انقسامها الثنائي، وكما يقول (ألدوس هكسلي):

«عندما قررت الأميبا التطور من كائن حي مفرد الخلية إلى كائن حي متعدد الخلايا، فإنها ضحت بفرضتها في الخلود»، وكما يقول المثل الشائع (مع الجنس جاء الموت)».

والحقيقة أنه لا يوجد سبب معين يدعو (الخلية الحية) إلى الموت، لكنها تموت مع ذلك، وقد تم وضع عدد من الفرضيات لذلك، أهمها:

- 1 - التلف العشوائي لـ (DNA).
 - 2- توقف خلايا بعض الأنسجة عن الإنقسام بصورة تدريجية.
 - 3- توقف بعض الأنزيمات المهمة عن العمل.
 - 4- تغير في المستوى الهرموني.
 - 5- بطلاً جهاز المناعة وتأخره في الاستجابة.
 - 6- زيادة الجذور حرة الأوكسجين Oxygen Free Radicals وتدميرها الخلية.
 - 7- نشاط (جينات الشيخوخة) داخل الخلية.
 - 8- توقف الغذاء الواصل للخلية.
- وما زال اجتماع الآراء صعباً للغاية.

شيخوخة الخلايا في المختبر:

كان الاعتقاد في الخمسينات بأن الخلايا المزروعة في مزارع خلوية تستطيع التناسخ بصورة لا نهائية، مما يعني بأن البشر يشيخون ويموتون ليس بسبب برنامج داخلي لتحلل خلاياهم، ولكن بسبب عمليات تنشأ خارج الخلايا عند مستوى عال من التنظيم الفيزيولوجي، وتداعت هذه المعتقدات عام 1961م عندما تم اكتشاف بأن الأرومات الليفية العادية Fibroblasts العادية في الإنسان تنقسم بعدد محدد من المرات، وبصورة أكثر تحديداً، فكل خلية ستقسم 50 مرة ثم تتوقف رغم كل توفر الظروف الملائمة لذلك، وتم إطلاق اسم حد هايفليك (Hayflick Limit) على عدد المرات التي تنقسم فيها الخلية (عدد مرات تضاعف الدنا)، وقد وجد أن (حد هايفليك) يتناسب عكسياً مع عمر الواهب للخلايا، فكلما زاد العمر الزمني للواهب كلما قل حد هايفليك، كما تم اكتشاف أن بعض الخلايا الموهوبة من قبل بعض الواهبين المصابين بأمراض وراثية لن تنقسم إلا بصعوبة ويعدد لا يتجاوز أصابع اليد.

تعرف الباحثون في السنوات الأخيرة على عدد من الجينات المسؤولة عن تحديد هذه الانقسامات، فلدى الباحثين برهان على أن جينات في الكروموسومين 1 و 4 تسهم في هذا الفقد لقدرة التضاعف، كما أن مختبرات لورنس بركلي قد حددت بأن تعطيل الجين يسبق، ومن المحتمل أن يؤثر في كثير من التغيرات الأخرى التي أمكن تعرفها c-fos. وعندما يتم تثبيط الجين c-fos نهائياً فإن خلايا الأرومات الليفية ستتوقف تماماً عن الانقسام.

السؤال هو: من يثبط الجين c-fos، والإجابة على السؤال ليست سهلة، فهناك الكثير من الفرضيات، فمن المحتمل أن تقوم الأرومات الليفية بإنتاج مثبط لذلك الجين، أو ربما سيقوم جين آخر بإرسال مواد مثبطة لذلك الجين، أو ربما كانت هناك أسباب أخرى.

الخلية المستغنى عنها:

قدم (كيركورد) فرضية الخلية المستغنى عنها (Desposable Soma Theory) لتفسير هذه الظاهرة، إذ يرى بأن السبب يعود إلى وجود جينات خاصة في كل خلية تسمى (جينات الشيخوخة) ستحفز الـ (DNA) على التوقف عن الاستساخ، ويعود

السبب إلى استخدام جزء كبير من الطاقة الكامنة في داخل الخلية في أنظمة حماية الخلية، وضمان حيويتها خلال فترة زمنية معينة، أما بقية الطاقة فتوجه إلى (الخلايا الجنسية) من أجل زيادة حيويتها، ومن أجل نقلها إلى الجيل التالي منعاً لفناء النوع، وبمعنى آخر فإن الكائن الحي سيستخدم طاقة دفاعية كافية لجعل الخلية الجسدية مستمرة في العمل لعدد محدد من السنوات، وإن كانت لتستهلك في Somatic Cell النهاية، ولكن المهم دائماً الحفاظ على الخلايا الجنسية Germ Cell على أفضل وجه لحماية النوع.

توضح هذه النظرية بأن طول بقاء الخلية الجسدية على قيد الحياة سيعتمد على مخزونها من الطاقة الحيوية، فضلاً عن عوامل أخرى، وتدعم هذه النظرية فرضية حدوث شيخوخة الخلايا من تلف تسببه الجذور حرة (الأوكسجين) Oxygen Free التي تتولد من الكثير من التفاعلات البيولوجية، ولما كانت الجذور تحمل Radicals الكترولاً مفرداً، فإنها تستطيع أكسدة الـ (DNA)، والبروتينات، والدهون، وجزيئات مختلفة في جميع أنحاء الخلية، مما يؤدي إلى تلف تلك الجزيئات، ونستطيع هذه الجذور إنتاج أنواع أخرى من الجذور التي تؤدي إلى المزيد من التلف، ومن ثم تدمير الخلية، كما أن الحيوانات التي تقوم بـ (حرق) الأوكسجين أسرع من غيرها ستشيخ أسرع من غيرها.

التغذية:

تعمل التغذية كسلاح ذو حدين، حيث تم إجراء العديد من التجارب حول البكتيريا لمعرفة مدى مقاومتها لظروف غير ملائمة لنموها، فعندما وضعت البكتيريا في وسط خال من أي نوع من أنواع الحوامض الأمينية أو البروتينات (وكلاهما لا تستطيع تخليقه حياتياً)، فإن تلك البكتيريا استمرت في البقاء على قيد الحياة عدد من الساعات، دون فقدان القابلية على تكوين مستعمرات جديدة، وكما أن الخلايا البكتيرية تستطيع العمل عدد من الساعات عند إزالة الحامض النووي الرايبوزي RNA (وإن كانت حيويتها ستأثر كثيراً)، ولكن عند حرمان هذه الخلايا من الـ (ثايمين) Thymine المهم في تكوين الـ (DNA) فإن الخلية المحرومة من الثايمين ستفقد قابليتها على إنتاج

المستعمرات خلال 30-40 دقيقة فقط، ثم ستموت الخلايا بعد ذلك بسرعة، وفي الإمكان إضافة (الثايمين) مع مثبطات تمنع استعمال الخلية له، مما سيؤدي إلى نفس النتيجة.

ثبتت التجربة السابقة أهمية إبقاء التخليق الحيوي لـ (الدنا) (DNA) مستمراً من أجل بقاء الخلية على قيد الحياة، ولكن أثبتت التجارب بأن قابلية (الدنا) على الاستساح لتكوين (دنا) جديدة وخلايا جديدة محددة إلى درجة كبيرة، لا سيما في خلايا اللبائن (ومن ضمنها الإنسان).

يعد (الكلوكوز) مصدر الوقود الرئيس لمعظم كائنات الحية، لكنه يغير تدريجياً أسلوب اتصاله بالبروتينات طويلة الأجل (مثل الكلايكوجين)، فيجعلها تتراكم بشكل وحدات مستعرضة مما يقيد حركتها بصورة تدريجية مما يؤدي إلى توقفها وشلل الخلية.

بالطبع، لا تحدث مثل هذه الأمور داخل الخلية إلا إذا كان نظام إصلاح الأخطاء داخل الخلية عاجزاً عن عمل أي شيء ضدها، لذا تعمل الكثير من المختبرات في أنحاء العالم للمحاولة في إيجاد وسيلة لتأخير شيخوخة الخلايا، ومن ثم الإبقاء على الكائن الحي فترة أطول من الزمن.

الشيخوخة المتأخرة:

استطاعت مختبرات جامعة كاليفورنيا إنتاج سلالة من ذباب الفاكهة (دروسوفيلا ميلانوكاستر) التي تعيش ضعف المدة المقررة لأسلافها، كما أنها ذبابات فائقة، تتميز بطيلة عمرها بأنها أصعب عوداً وأقدر على مقاومة الظروف الطبيعية الصعبة، وفترة (شيخوختها) أقصر من أسلافها، وفي الوقت نفسه، تمكنت مختبرات جامعة كولورادو من إطالة عمر الدودة الخيطية Nematoda المسماة سينور البدنس اليكانز. والتي كان العالم الأمريكي سيدني برينر قد بدأ باستعمالها (Caenorhabditis Elegans) في عام 1968 كحيوان مختبري بدلاً من ذبابة الفاكهة (1).

(1) لا يتجاوز طول هذه الدودة المليمتر الواحد، وتتكون من 600 خلية (300 منها في الجهاز العصبي)، وتتمتع على أطنان بتري Perri Dishes (نسبة إلى العالم بتري تلميد العالم الألماني روبرت كوخ).

تم استخدام طريقان مختلفان للوصول إلى هذه النتائج، فبينما ركز الدكتور (روز) قائد فريق أبحاث جامعة كاليفورنيا على التحديد الغذائي (Diet Restriction) وبصورة أدق على إعطاء الذباب سحار حرارية محددة إلى أن تمكن من تطويل أعمارها، فإن الدكتور (جونسون) قائد فريق جامعة كولورادو أحدث طفرة وراثية في أحد الجينات الذي سماه جين العمر (Age-1 Gene) مما سبب طول عمر الدودة.

يهدف العالمان بالدرجة الأولى إلى تأخير الشيخوخة إلى أقصى حد ممكن، فكما يقول الدكتور (روز): «إن الشيخوخة تعد لغزاً لا يمكنك فهمه إلا إذا استطعت مقارنة شيخوخة عادية بأخرى مؤجلة، فستعرف ما تفتقده الحيوانات العادية، ولكن الأمر صعب جداً للبشر لعدم وجود مجموعة سيطرة، وقد وجد العالم (روز) ومجموعته ما يلي:

1- عند مقارنة البروتينات التي تصنعها الحشرات العادية بالحشرات طويلة العمر، وجدا أن الحشرات طويلة العمر تنتج أنزيم (Superoxide Dismutase) المضاد للأكسدة ذو نشاط يفوق المعتاد، وبنفس الكميات تقريباً، وتعمل هذه الأنزيمات على معالجة التلف التي تسببه الأكسدة، وتم العثور على نفس الأنزيم في الدودة الخيطية.

2- تختزن الحشرات طويلة العمر كميات كبيرة من الدهون تفوق ما تخزنه الحشرات العادية.

3- تختزن الحشرات طويلة العمر كميات من الكلايكوجين (النشا الحيواني) مما يمنع الجفاف فيها.

كما وجد الدكتور (جونسون) بأن قيام الديدان الخيطية بالعملية الجنسية سيقصر أعمارها نسبة إلى الديدان المفردة المستخدمة للتلقيح الذاتي في التكاثر.

يحاول العالمان الآن استخلاص الجينات المسؤولة عن الشيخوخة المتأخرة، ولكن لماذا تحاول (جينات) تثبيط عمل خلايا الكائن الحي، لا أحد يعرف السبب في ذلك، ربما ليس الهدف إيقاف الحياة، وإنما هدف آخر لا أحد يعرفه لحد الآن.

العقارات المنشطة لحيوية الإنسان:

عندما فشل الإنسان في الوصول إلى الخلود، بدأ في البحث عن عقارات تنشط حيويته، ومن أهم هذه العقارات.

1- نبات الجنسنغ Ginseng:

الذي استعمل في كوريا والصين منذ قرون لعلاج أمراض ضعف القوة والتهاب القصبات والازكما والتدرن الرئوي والسل وأمراض الكلى والطحال والروماتزم وأمراض القلب وغيرها، وينمو النبات في تربة غنية قرب قاعدة شجرة كبيرة تظله لحساسيته الشديدة من ضوء الشمس، فضلاً عن حاجته إلى درجة حرارة لا تتجاوز 75 درجة فهرنهايت وحركة هواء مستمرة، ويحتاج النبات ست سنوات للوصول إلى نضجه الكامل، ويمتص خلال هذه الفترة جميع المعادن والمواد الغذائية من التربة بحيث لا يمكن زراعة التربة إلا بعد 15 سنة من قلع النبات، ولهذا لا ينمو في الغابات الكثيفة ذات الأرض الغنية، وبلغ ارتفاع النبات بين 7-21 انج في الحالة البرية، والجذور بيضاء مصفرة وهي المادة الغذائية المستهلكة، وله ساق واحدة تحمل خمس أوراق عند النضج وعنقود من الثمار القرمزية في الربيع.

وتعد كوريا المصدر الأول لهذا النبات الذي يستعمل بكثرة في الغرب، يليها الصين، ثم الاتحاد السوفيتي، ويتم تعقيم الجذور قبل تصديرها بطرق خاصة مما يؤدي إلى تغيير لونها إلى اللون الأحمر القاني، ويدعى الجنسنغ الأحمر ملك الجنسنغ، ثم يعد بشكل جذور أو بشكل أقراص أو مساحيق خارج البلاد أو يخلط بالشاي أو الحلويات وغيرها، ولكن هل الجنسنغ فعال لهذا الحد؟

الحقيقة أن الجنسنغ يحتوي على ستة مركبات كيميائية تدعى Panaxosides تركيبها الكيميائي هو $C_{32}H_{36}O_{49}M_{48}O_3$ التي تعمل على زيادة فعالية الغدد الصماء قليلاً، وهذا سيزيد النشاط الحيوي الأيضي قليلاً، وبمعنى آخر، ورغم الدعاية الهائلة لهذا النبات واستعمالاته المنتشرة الكثيرة، فلا يوجد دليل علمي واحد يثبت أن له دور فعال في الخلود.

2- الغذاء الملكي Royal Food:

تتغذى ملكات النحل على (الغذاء الملكي) المحتوي عسل طبيعي ومزيج من حبوب اللقاح ومواد أخرى، بينما تتغذى العاملات على (العسل الطبيعي) فقط، وتعيش الملكة (سبع سنوات)، والعاملة (ستة أشهر)، مما يدل على أن (الغذاء الملكي) يقوم بإطالة عمر الملكة، وهو السبب الوحيد لطول عمرها حسب ما كشفت الأبحاث.

تمت العديد من الأبحاث حول الغذاء الملكي، ولا زالت الآراء متضاربة حوله، فما يطيل عمر حشرة ليس بالضرورة سيطلق عمر الإنسان.

3- فيتامين E:

يتفاعل فيتامين E مع الجذور طليقة الأوكسجين، وبالتالي سيمنعها من مهاجمة مكونات الخلية، كما أنه يذوب في الدهون وبذلك يستطيع حماية الخلية.

4- الحقن بالهرمونات واتباع (حمية غذائية) معينة:

وهي طريقة الدكتور الرومانية (آنا أصلان) ولكن موتها في سن الثمانين، وإن كانت حيويتها حيوية امرأة في الخمسين، قد أثبت بما لا يقبل الجدل بأن حقن الهرمونات وإن جدد حيوية الإنسان ولكنها لن تطيل عمره، كما أن استعمال هذه الحقن يسبب نوعاً من الإدمان عليها، مما سيؤدي إلى الهرم السريع والموت في حالة توقف الإنسان عن تعاطيها.

التجميد ومحاولة البقاء على قيد الحياة:

تطالعنا وكالات الأنباء بين تارة وأخرى عن قيام (شركات التجميد لجسم الإنسان) في الولايات المتحدة وأوروبا بتجميد (أجسام أناس الذين ماتوا أو شاربوا على الموت نظراً لإصابتهم بأمراض مستفحلة لا علاج لها في الوقت الحاضر، على أمل أن يتوصل العلم في المستقبل إلى إيجاد وسيلة للقضاء على أمراضهم وشفاؤهم، وعندئذ ستم إعادة الحياة إليهم)، وتكلف عمليات التجميد مبلغاً يتراوح بين 100-500 ألف دولار، علاوة على إيقاف المجمدة أجسادهم العديد من ممتلكاتهم لهذه الشركات، والسؤال المطروح دائماً هو: هل يمكن إعادة الحياة لهؤلاء لا سيما إن فترة التجميد غير معروفة، وقد تستغرق مائة عام أو أكثر.

لقد اتجه العلماء إلى دراسة ظاهرة (السبات الشتوي) في الحيوان علها تكون سبباً في الوصول إلى الخلود، فالكثير من البرمائيات والزواحف وبعض اللبائن، مثل الدببة، تسبت عندما تنخفض درجة الحرارة، ويقل عدد ضربات قلبها إلى ضربة واحدة أو ضربتين في الدقيقة، ويقل تمثيلها الأيضي إلى الخمس (أو العشر أحياناً) مما كان عليه قبل السبات، وقد اكتشف العلماء أن الظاهرة لا تقتصر على الحيوان، فالفلاحين في سيبيريا يسبتون سباتاً جماعياً عند اشتداد البرد، فيجتمع 50-100 فلاح في كوخ دافئ وينامون معاً لعدة أشهر، ويستيقظ كل منهم كل 3-4 أيام ليأكل نزرأً من الطعام ثم يعود للنوم، وقد لاحظ العلماء أن الإنسان لا يستطيع السبات بمفرده، عكس الحيوان، إذ لا بد من وجود عشرين شخصاً في نفس المكان لتتم عملية السبات الجماعي، والمشكلة أن الحيوان يستهلك خلال السبات الدهون المخزونة في جسمه، كما أن الإحصائيات أثبتت أن معدل عمر الدببة في البراري، والتي تسبت شتاءً، مساوي لمعدل عمر الدببة في حدائق الحيوان، والتي لا تسبت لاعتدال درجة حرارة أقفاصها.

اكتشف العلماء في أوائل الأربعينات ظاهرتين فريدتين في عالم الأحياء، الأولى هي تجمد النسغ النباتي بشكل كريات صغيرة غير بلورية في بعض الأشجار، مما يمنع وصول الغذاء إلى الأوراق فتبدأ بالتساقط، ثم يسعيد النسغ النباتي سيولته فتعود الأوراق إلى النمو من جديد، والظاهرة الثانية هي ظاهرة تجمد دم بعض أنواع الأسماك، التي تعيش في البحيرات المتجمدة، بشكل كريات صغيرة لزجة لمنع تقصف الشرايين والأوردة، وتتوقف الدورة الدموية، وتبقى السمكة في حالة انجماد تام إلى حين ذوبان الجليد المحيط بها، فتعود إلى حالتها الطبيعية، ويعني ذلك أن السمكة تموت في فصل الشتاء وتعود إلى الحياة في فصل الربيع وهذا يؤدي إلى إدراك جديد لمعنى (الموت) إذ يمكن تقسي الموت إلى نوعين:

1- الموت الظاهري أو الجسدي حيث يتوقف القلب والرئتين عن العمل مما يمنع وصول الغذاء إلى خلايا الجسم، لا سيما خلايا المخ، وتستغرق هذه العملية بين (8-10) دقائق.

2- الموت الحقيقي ويبدأ بموت خلايا المخ تدريجياً، وتمتد الفترة إلى حوالي (40) دقيقة.

فأسماك البحيرات الثلجية تموت موتاً ظاهرياً وليس موتاً حقيقياً، وهذه بالضبط الفكرة التي يتم على أساسها تجميد الإنسان، وهو ما تفعله شركات تجميد البشر الآن، حيث تقوم بسحب الدم من جسم الفرد المراد تجميده وضخ سائل الكليسرول أو أي محلول غير قابل للإنجماد، إلى الشرايين والأوردة بعد تبريد الجسم إلى 10 درجات مئوية، علماً أن تخلف قطرة واحدة من الدم داخل أي خلية سيؤدي إلى تهشم تلك الخلية أثناء عملية التجميد لتحول الدم إلى بلورات ثلجية، ثم يتم خفض درجة حرارة الجسم بسرعة وبصورة تدريجية إلى (-79) درجة مئوية باستعمال الهيدروجين السائل، لإبقاء جميع جزيئات الجسم بصورة ثابتة ضماناً لاستمرار التفاعلات الكيميائية والحياتية عند إعادة الحياة للفرد، ومن المهم جداً أن تتم العملية في أقل من خمسة دقائق، أي في فترة الموت الظاهري، ويبدو الأمر بسيطاً ولكنه ليس كذلك.

لقد تطور علم التجميد تطوراً كبيراً منذ السبعينات، وأصبحت عمليات تجميد الدم والحيامن وأجنة اللبائن تزاوُل بصورة طبيعية ومستمرة في المستشفيات والمختبرات، كما أصبح في الإمكان تجميد أعضاء مختلفة من جسم الإنسان مثل الكبد والكلية والقلب وغيرها، وكذلك تجميد عدد من أدمغة الحيوانات لفترات زمنية وصلت إلى ثلاث سنوات، وأظهرت هذه الأدمغة نشاطاً حيوياً كهربائياً سجله (جهاز تخطيط الدماغ) بعد إعادتها للحياة، ولكن أحداً لا يعرف ما إذا كانت هذه الأدمغة تتمتع بنفس قدراتها الفسلجية السابقة، أم هي مجرد خلايا عصبية متفرقة، فالمشكلة الأساسية هي ليست في عملية التجميد والتي يمكن إجراؤها بسهولة، وإنما في عملية الإذابة أو تدفئة الجسم مرة أخرى، وما ستفعله الشركات هو رفع درجة حرارة الجسم من (-79) درجة مئوية إلى (10) درجة مئوية من خلال ضخ أوكسجين حار حول الجسم، ثم ضخ ماء فاتر لحرارة داخل الجهاز الهضمي، واستبدال مادة الكليسرول من الشرايين والأوردة بدم جديد. ويربط الجسم بقلب وكلية صناعية وأجهزة لتحريك العضلات، على أن تتم العملية خلال دقيقة واحدة فقط، لأن أول ما سيحتاجه الجسم هو وصول الغذاء عن طريق الدم إلى خلايا المخ منبأ لتلف بعضها، والمشكلة الأساسية هي كيفية إعادة الحياة للخلايا العميقة في جسم الإنسان، فجسم الإنسان ضخم للغاية، يستغرق تجميده ما بين (12-15) دقيقة في الأحوال الاعتيادية، ولهذا تلجأ الشركات إلى غرز

أبر بلاتينية شبيهة بالإبر الصينية، ومربوطة بجهاز التبريد، في مستويات مختلفة من الجسم لتساعد على سرعة التجمد، وتلجأ في عملية التدفئة إلى زيادة ضربات القلب إلى (120) ضربة في الدقيقة. باستعمال محفزات آلية للإسراع في عملية توزيع الدم إلى أعماق خلايا الجسم، علماً أن جميع التجارب أثبتت أن عملية تدفئة خلية مفردة واحدة، خارج الجسم الحي تفشل بنسبة 30% في أحسن الأحوال، ولهذا فمن المتوقع موت أو تمزق 5% من خلايا جسم الإنسان المجمد بعد إعادته للحياة، مما يؤدي إلى حدوث نزيف داخلي يؤدي به إلى الوفاة.

وأخيراً يبقى تأثير عمليتي التجميد والتدفئة على الدماغ أمراً مجهولاً، فقد ينجح الكليسرول في إزالة الدم تماماً وحفظ الدماغ سليماً، وقد يسبب الكليسرول - كمادة سامة - تلف بعض الخلايا، أو قد تسبب قطرات الدم المتخلفة تهشم الخلايا الدماغية، ورغم ذلك كله، فالإنسان يستطيع إذا امتلك قدرة جسدية عالية تحمل آثار التبريد والتدفئة، فقد تنجح عملية إعادة الحياة بنسبة 90% إلى شاب رياضي في العشرين يتمتع بقلب سليم وأعضاء جسم سليمة خالية من الأمراض تستطيع مقاومة الآثار السلبية للعمليات - الأنفة الذكر - ولكن من المشكوك في أمره أن يستطيع جسم إنسان مشرف على الموت بسبب مرض معين - كالسرطان مثلاً - دمر معظم أعضائه الحيوية، ويقلبه في طريقه إلى التوقف الآثار السلبية لعمليات التجميد والتدفئة، بل أن من المؤكد أن هذا الشخص سيتوفى خلال عمليات التجميد الأولى، فلماذا إذن يجمد هذا الشخص نفسه - رغم معرفته الوثيقة بعدم جدوى ذلك - إنه يفعل ذلك طمعاً بالخلود الأزلي، وكما تكبد الفراعنة القدماء عناء بناء الأهرامات وتحنيط الجثث، فإن فراعنة اليوم يحنطون أجسامهم - بطريقة مختلفة متشابهة - ليصلوا إلى الخلود.

المصادر

- 1- Smith, D.W.E. (1996). Human Longevity Oxford University Press.
- 2- Ristinic, I.R. (1995) Why we Reach Old Age? Science, Vol. 11, No.8.
- 3- Korean Ginseng Industrial Co. Ltd. (1998). Ginseng. A Guide Book.
- 4- Pain, R. H. (1998). Mechanism of Protein Folding, Oxford University Press.
- 5- Gems, D. and Riddle, D.L. (1996) Longevity in Caenorhabditis Elegans Reduced by Mating but not Gamete Production. Nature, Vol. 379, 22nd Feb.

الختامة

يواجه مدرس (علم الخلية) مصاعب عديدة في تدريس الخلية، لا سيما عند استخدام مصطلحات تم إطلاقها في زمن (المجهر الضوئي)، فنحن نعرف مثلاً بأنه لا يوجد شيء اسمه (الأكتبلازم) أو (الأندوبلازم)، وكل ما في الناظر الى الخلية بواسطة المجهر الضوئي سيجد الساييتوبلازم قرب الغشاء شفافاً والبعيد عنه معتماً، وهو خداع بصري معروف (كما يحدث عند النظر الى وعاء مملوء بالشورية من فوق)، ولكن تم استخدام هذين المصطلحين لغاية وقتنا الحاضر في سبيل تسهيل فهم تكوين الأقدام الوهمية على سبيل المثال، ونفس الشيء يقال بالنسبة للكروماتين الحقيقي والكاذب، وهي مناطق يلتف فيها الحامض النووي على نفسه بشدة، او يكون قليل الالتفاف على التوالي، وهو مصطلح من مخلفات عصر (المجهر الضوئي) أيضاً، والحقيقة أن تداخل مصطلحات المجهرين الضوئي والإلكتروني في موضوع (النواة) بالذات يجعل من مهمة (مدرس المادة) مستحيلة أحياناً، وهو يحاول تفسير لماذا تم الإبقاء على بعض المصطلحات لحد الآن.

أما بالنسبة لعضيات الخلية، فقد جرت العادة ببعض المؤلفين على اعتبار (الشبكة الأندوبلازمية وأجسام كولجي واللايسوسومات والغشاء النووي والغشاء البلازمي) وحدة لا تتجزأ، ويتم تدريسها على هذا الأساس، او يتم فصلها الى أقسام، ويتم أخذ كل قسم على حدة (كما فعلنا في هذا الكتاب) للتسهيل على القارئ الكريم.

والله من وراء القصد

المصادر

- 1- Smith, D.W.E. (1996). Human Longevity Oxford University Press.
- 2- Ristinic, I.R. (1995) Why we Reach Old Age? Science, Vol. 11, No.8.
- 3- Korean Ginseng Industrial Co. Ltd. (1998). Ginseng. A Guide Book.
- 4- Pain, R. H. (1998). Mechanism of Protein Folding, Oxford University Press.
- 5- Gems, D. and Riddle, D.L. (1996) Longevity in Caenorhabditis Elegans Reduced by Mating but not Gamete Production. Nature, Vol. 379, 22nd Feb.

الخاتمة

يواجه مدرس (علم الخلية) مصاعب عديدة في تدريس الخلية، لا سيما عند استخدام مصطلحات تم إطلاقها في زمن (المجهر الضوئي)، فنحن نعرف مثلاً بأنه لا يوجد شيء اسمه (الأكتوبلازم) أو (الأندوبلازم)، وكل ما في الناظر إلى الخلية بواسطة المجهر الضوئي سيجد الساييتوبلازم قرب الغشاء شفافاً والبعيد عنه معتماً، وهو خداع بصري معروف (كما يحدث عند النظر إلى وعاء مملوء بالشورية من فوق)، ولكن تم استخدام هذين المصطلحين لغاية وقتنا الحاضر في سنبل تسهيل فهم تكوين الأقدام الوهمية على سبيل المثال، ونفس الشيء يقال بالنسبة للكروماتين الحقيقي والكاذب، وهي مناطق يلتف فيها الحامض النووي على نفسه بشدة، أو يكون قليل الالتفاف على التوالي، وهو مصطلح من مخلفات عصر (المجهر الضوئي) أيضاً، والحقيقة أن تداخل مصطلحات المجهرين الضوئي والإلكتروني في موضوع (النواة) بالذات يجعل من مهمة (مدرس المادة) مستحيلة أحياناً، وهو يحاول تفسير لماذا تم الإبقاء على بعض المصطلحات لحد الآن.

أما بالنسبة لعضيات الخلية، فقد جرت العادة ببعض المؤلفين على اعتبار (الشبكة الأندوبلازمية وأجسام كولجي واللايسوسومات والغشاء النووي والغشاء البلازمي) وحدة لا تتجزأ، ويتم تدريسها على هذا الأساس، أو يتم فصلها إلى أقسام، ويتم أخذ كل قسم على حدة (كما فعلنا في هذا الكتاب) للتسهيل على القارئ الكريم.

والله من وراء القصد

