وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة تكريت

كلية التربية للعلوم الصرفة

المرحلة الاولى (صباحي , مسائي)

((محاضرات علم الخلية النظري))

م.د. شذى حازم شاكر

٢٠٢٣ م

١٤٤٥ هـ

الفصل السابع

المايتوكوندريا (أو العصيات التنفسية)

Mitochondria

أطلق مصطلح المايتوكوندريا [Mito = thread (خيط) ، chondrion = granule (حبيبة)] لتسمية مجموعة من المحتويات السايتوبلازمية المتميزة والتي تتخذ أشكالاً متنوعة سواء في الخلايا الحيوانية أو النباتية (بندا Benda ١٨٩٧) .

يمكن ملاحظة المايوكوندريا في الخلايا الحية باستخدام بعض المجاهر منها المجهر المتباين الأطوار ، مجهر المجال المظلم . وكذلك يمكن دراستها تحت المجهر الضوئي الاعتيادي وذلك باستخدام الصبغة الحيوية كصبغة جانس الخضراء Janus green وتظهر عادة على شكل عصيات او تراكيب ليفية أو حبيبات .

الموقع : Location

تكون المايتوكوندريا موزعة في أغلب الخلايا بصورة متجانسة في السايتوبلازم إلا أنه في قسم من الخلايا تكون المايتوكوندريا موضوعية ، فعلى سبيل المثال في خلايا أنابيب الكلية توجد المايتوكوندريا في لفات المناطق القاعدية بالقرب من غشاء البلازما . بينما وجدت المايتوكوندريا في قسم آخر من الخلايا متجمعة حول النواة. أما خلال الانقسام الخيطي الاعتيادي mitosis فقد وجدت المايتوكوندريا في كل خلية شقيقة يكون متساوياً تقريباً . كما يجب أن يؤخذ بنظر الاعتبار موقع المايتوكوندريا من ناحية الوظيفة ولهذا فقد وجدت علاقة بين الموقع والوظيفة كأن يكون نقل المواد من منطقة الى أخرى بواسطة توليد الطاقة لهذه العملية من المايتوكوندريا . وفي بعض الخلايا فان المايتوكوندريا لها القابلية على التحرك بحرية ناقلة معها الفوسفات ثلاثي الادنين (ATP) عند الحاجة.

التركيب الدقيق للمايتوكوندريا :

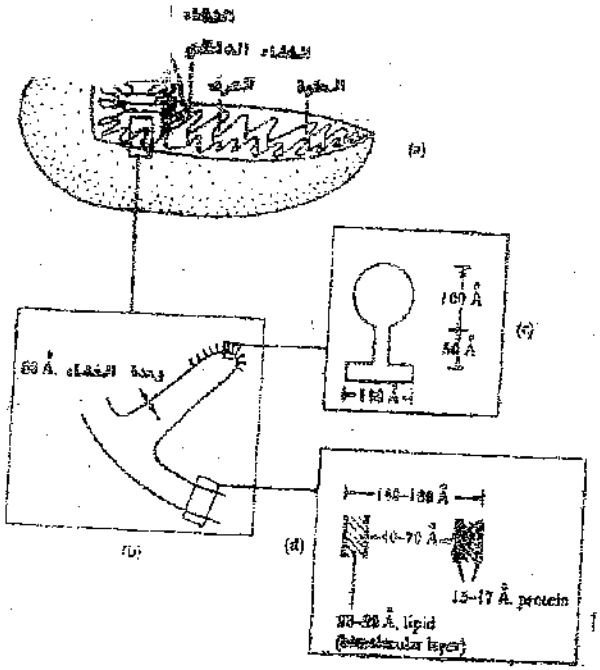
Ultrastructure of Mitochondria

كما تظهر تحت المجهر الالكتروني (شكل ٧ - ١) تتكون المايتوكوندريا من غشاء خارجي أملس سمكه ٦٠ أنكستروم وتأتي بعدهُ منطقة أقل كثافة وهي تفصل بين الغشاء الخارجي والداخلي وهي ذات قطر متغاير وتسمى هذه المنطقة بالردهة الخارجية outer chamber ويتراوح عرض هذه الردهة بين ٤٠ - ٧٠ انكستروم بعدها يأتي الغشاء الداخلي الذي يحتوي على التقافات داخلية تسمى الأعراف Cristae (مفرد عرف Crista) وله سمك مقارب لسمك الغشاء الخارجي ، ويسمى التجويف الواقع الى داخل الأعراف بالردهة الداخلية inner chamber ويكون مليئاً بمادة كثيفة تتألف من حبيبات كثيفة وتسمى الحشوة matrix ان اغشية المايتوكوندريا هي من النوع المتناظر ولها طبقة دهنية ذات نمط كروي شأنها في ذلك شأن أغشية كولجي وأغشية الشبكية الاندوبلازمية. ويبلغ سمكها بين ٢٠-٢٣ انكستروم ، أما الطبقة البروتينية الخارجية فيبلغ سمكها بين ١٥-١٧ انكستروم. يتميز الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا بوجود حبيبات صغيرة ذات رأس يتراوح قطره بين ٨٠-١٠٠ انكستروم محمولاً على سويق يبلغ طوله ٥٠ انكستروم وقطرها ٣٠-٤٠ انكستروم ، أما قاعدته فهي مكعبة الشكل وقياسها ١١٠ X ٤٠ انكستروم ويعتقد ان غشاء هذه الحبيبات هو موقع حدوث الفسفرة التأكسدية oxidative phosphorylation وكذلك نظام نقل الالكترونات electron transport system.

Cristae

الأعراف :

يعد غشاء المايتوكوندريا الخارجي تركيباً أكثر ثباتاً من الاغشية الداخلية والعرفية لذا فقد لوحظت التحورات في تراكيب المايتوكوندريا وبصورة رئيسية في الأعراف ، على الرغم من وجود بعض التغيرات في المادة البينية والحبيبات داخل المايتوكوندريا والغشاء الخارجي . يختلف عدد الأعراف لكل مايتوكوندريون اختلافاً كبيراً إعتماداً على نوع النسيج التي توجد فيه فعلى سبيل المثال ، يكون المايتوكوندريا خلايا عضلات الطيران للحشرة وللعضلة القلبية لحيوان لبون عدد عال جداً من الأعراف لان الايض التأكسدي عال في هذه العضلات ، بينما يكون عددها قليل في المايتوكوندريا لخلايا اخرى كالخلايا الهدبية وخلايا الرئتين وخلايا كبد الجرذ.



الشكل ٧ – ١ : (أ) مخطط لتركيب المايتوكوندريون القطع حيث تمثل (a) منظراً ثلاثي الأبعاد للميتوكوندريون و (b) توضيح المساحة المبينة في (d) و (c) ابعاد الحبيبات الثانوية و (d) ابعاد المساحة المبينة في (b) .

(ب) المايتوكوندريا كما تظهر تحت المجهر الالكتروني (قوة التكبير ٤٩٠٠٠ X)

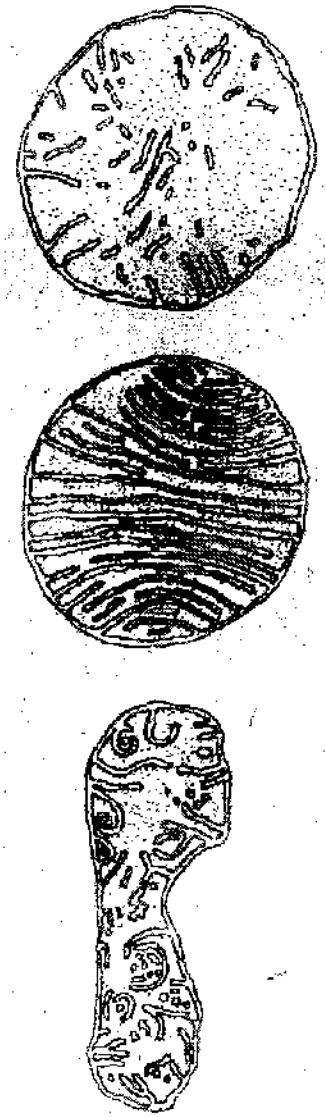
يكون ترتيب الاعراف متباينا كما هو مبين في الشكل ٧-٢ وهي كما يلي :

١- اعراف موازية للمحور الطولي للمايتوكوندريا كما في الخلايا العصبية والعضلات والخلايا المولدة للحيامن في الانسان .

٢- اعراف عمودية على المحور الطولي . وهي اكثر الانواع وجوداً .

٣- اعراف انبوبية الترتيب كما هي في خلايا الغدة الادرينالية والانابيب مالبيجي في الحشرات .

٤- وفي قسم من السبرماتيدات فان الاعراف تترتب على شكل اقراص متحدة المركز داخل الحشوة Matrix.



الشكل ٧ - ٢ : مخطط يوضح بعض الاختلافات في شكل وترتيب الاعراف .

ومهما اختلف ترتيب الاعراف فإنها تؤدي الى زيادة المساحات السطحية للغشاء الداخلي.

وهناك نوعان رئيسيان من الأعراف وهما :

١ - الاعراف الحاجزية :

Septate Cristae (complete or incomplete)

حيث يكون هذا النوع على شكل تقسيمات جانبية متوازية تبدو ثلاثية الطبقة . وهذه التقسيمات partition تتكون من وحدتي غشاء منفصلة بواسطة استمرارية الردهة الخارجية . كما تكون الاعراف الحاجزية عادة مفردة ومستقيمة .

٢ - الاعراف النبيبية : **Tubular Cristae**

حيث تظهر على شكل تقسيمات زغبية او خملية villi - like للغشاء الداخلي وقد وجدت في مايتوكوندريون الابتدائيات وخلايا الكبد والعصب .

المحتوى الكيمياتي : **Chemical composition**

ان مكونات غشاء المايتوكوندريا مماثل لمكونات غشاء البلازما اي لبيدات فوسفورية وبروتينات . يوجد البروتين على السطحين الخارجي والداخلي للمايتوكوندريا وهناك طبقة ثنائية الجزيئة من اللبيد بينهما .

عند تحليل محتوى الوزن الجاف للمايتوكوندريا تبين انها تحتوي على المواد التالية :

٦٥ - ٧٠ ٪ بروتينات و

٢٥ - ٣٠ ٪ لبيدات

ومن اللبيدات هناك ٩٠ ٪ على شكل لبيدات فسفورية و ١٠ ٪ كولسترول وكاروتينويد وفيتامين E وبعض العناصر غير العضوية كالحديد والكبريت والنحاس . بجانب ذلك توجد هناك انزيمات التنفس التي تساعد في عملية التنفس مثل cytochrome oxidase ، reductase ، transaminase ، coenzyme 1 حامض دهني و oxidase وغيرهم .

الحامض النووي الرايبوزي اللاوكسجيني المايتوكوندري :
Mitochondrial DNA (mt DNA)

تحوي المايتوكوندريون على جزيئة DNA واحدة او اكثر وتكون دائرية الشكل ، ملتفة بصورة شديدة ويصل طولها ما يقرب من ٥ مايكروميتر . وهي تماثل الـ DNA البكتيري الذي يُظهر الشكل الدائري ايضاً . يتصرف الـ mt DNA كالكروموسوم حيث يتضاعف بالطريقة الاعتيادية أي طريقة شبه محافظ semi-conservative مكوناً دوائر متعددة .

ونتيجة وجود الـ DNA فإن المايتوكندريا لها القابلية على التكاثر الذاتي. هناك أوجه عدة يختلف فيها mt DNA عن DNA النووي وهي :

١- ان mt DNA يحوي على G-C (كوانين – سايتوسين) بكمية كبيرة مقارنة بـ DNA النووي ، ويكون ذا كثافة أعلى.

٢- تكون درجة حرارة تغيير الصفات Denaturation لـ mt DNA اعلى من تلك في الـ DNA النووي.

٣- يكون شكل mt DNA دائرياً كالبكتريا بينما يكون DNA النواة ممتداً.

٤- معدل استعادة الطبيعة renaturation لـ mt DNA تكون بسرعة اكثر من DNA النووي.

٥- يستنسخ mt DNA في فترة بعد البناء (G2) لدورة الخلية وليس في فترة البناء (S) كما في DNA النووي.

كما وجد ان الوزن الجزيئي للحامض الرايبوزي اللاأوكسجيني للمايتوكندريا mt DNA يساوي تقريباً ١٥ر٠٠٠ وهي تعادل مايقرب من ١ × ١٠ من ازواج القواعد التي تكون كافية لبناء بروتين يحوي على مايقرب من ٥٠٠ر حامض أميني amino acid أو ٣٠ متعدد الببتيد وبمعدل وزن جزيئي قدره ٢٠٠ر٠٠٠.

الحامض النووي الرايبوزي المايتوكوندري
Mitochondrial RNA (mt RNA)

يعمل الـ mt DNA على التشفير لانواع من الـ RNA المايتوكوندري منها الحامض النووي الرايبوزي الرايبوسومي rRNA (١٦ S ، ٢١ S) ولحوالي ١٩ من الناقل RNA (tRNA) وللرسول RNA (mRNA) لصنع حوالي ٢٠ بروتيناً.

تكون رايبوسومات المايتوكندريون على الاغلب اصغر من الرايبوسومات السايتوبلازمية (٥٥ S ضد ٨٠ S). أما البروتينات لهذه الرايبوسومات فيأتي من تجويف المايتوكوندريون.

تتمكن المايتوكوندريون من بناء حوالي ١٠ انواع من البروتينات ذات صفة كارهة للماء hydrophobic (بمعنى اخر تكون ليبدات بروتينية) (Proteolipids).

ويمكن ايقاف بناء البروتين بواسطة مثبط بناء البروتين الكلورامفينيكول chloramphenicol كما في البكتريا.

وظيفة المايتوكوندريا : Mitochondrial Function

إن اهم الوظائف الايضية التي تقوم بها المايتوكوندريا هي الاكسدة oxidation وإزاحة الهيدروجين dehydrogenation والفسفرة التأكسدية oxidative phosphorylation والفعالية التنفسية respiratory activity ، وبذا تعد المايتوكندريا العضو التنفسي للخلية التي تتأكسد فيها كلياً المواد الغذائية كالكربوهيدرات والدهونات إلى ثاني أوكسيد الكاربون والماء لتحرر كمية كبيرة من الطاقة الحرة free energy لبناء مركب غني بالطاقة يدعى بالادينوسين ثلاثي الفوسفات adenosine triphosphate (ATP) في مناطق معينة في جدار المايتوكوندريا. ولأن المايتوكوندريا تبني مركب الـ ATP فإنها تسمى ايضاً ببيوت الطاقة للخلية power houses of the cell.

يتكون الـ ATP من قاعدة بيورين (أدنين) وسكر رايبوز وثلاث جزيئات من حامض الفوسفوريك. يكّون الادنين والسكر النيوكليوسيد nucleoside وهو الادينوسين. وقد يحوي الادينوسين على مجاميع الفوسفات بصورة مفردة أو مزدوجة أو ثلاثية مكوناً الادينوسين أحادي الفوسفات adenosine monophosphate

(AMP) وأدينوسين ثنائي الفوسفات adenosine diphosphate (ADP) وأدينوسين ثلاثي الفوسفات ATP على التوالي. وترتبط المجموعة الفوسفاتية الاخيرة في الـ ATP مع الـ ADP بواسطة آصرة خاصة تسمى بالاصرة الغنية بالطاقة energy rich bond. ويمكن تحلل الاصرة الفوسفاتية بواسطة الإنزيمات او المعاملة بالحامض او القاعدة لتحرر كمية كبيرة من الطاقة وكما هو موضح فيما يأتي:

$$ATP \xrightarrow[\text{حامض أو قاعدة}]{\text{انزيم أو}} ADP + Pi + \text{طاقة}$$

إن أكسدة المواد الغذائية في المايتوكوندريون توفر كمية كبيرة من الطاقة الضرورية لبناء الاصرة الغنية بالطاقة. وبذلك فإن كمية كبيرة جداً من الطاقة تبقى مخزونة في الآصرة الفوسفاتية الغنية بالطاقة لـ ATP التي قد تستخدم بصورة مباشرة عند الحاجة في تفاعلات خلوية عديدة. فضلاً عن الـ ATP توجد هنالك مركبات كيميائية أخرى غنية بالطاقة التي تأخذ دورها في الأيض الخلوي cellular metabolism ومنها سيتوسين ثلاثي الفوسفات Cytosine triphosphate (CTP) ويوريدين ثلاثي الفوسفات uridine triphosphate (UTP) وكوانوسين ثلاثي الفوسفات guanosine triphosphate (GTP) وتبنى هذه المركبات من الـ ATP المتكون في المايتوكوندريا بفعل انزيم نيوكليوسيد ثنائي الفوسفوكينيز nucleoside diphosphokinase.

أولاً - أكسدة الكاربوهيدرات : Oxidation of Carbohydrates

يتحول قسم من كاربوهيدرات الخلية الى سكريات احادية (كلوكوز) ثم تتحلل السكريات الاحادية الى مركب ثلاثي الكاربون وهو حامض البيروفيك. في هذه الخطوة تحصل سلسلة من التفاعلات الكيميائية بمساعدة العديد من الانزيمات ويدخل بعدها حامض البيروفيك المايتوكوندريون لإكمال الاكسدة الى CO_2 و H_2O.

ويمكن تلخيص العملية بكاملها التي تشمل على اكسدة الكلوكوز الى ثنائي اوكسيد الكاربون والماء التي تمثل المسارات الحيوية metabolic pathways الخطوات التالية :

١- عملية التحلل السكري الكلايكولسس Glycolysis.

٢- نزع مجموعة الكاربوكسيل التأكسدية Oxidative decarboxylation.

٣- دورة كربس Krebs cycle.

٤- سلسلة التنفس والفسفرة التأكسدية Respiratory chain and oxidative phosphorylation .

١- عملية التحلل السكري (الكلايكولسس) : Glycolysis

تعد عملية التحلل السكري glycolysis التي تعرف أيضاً بمسار أمبدين ومايرهوف Embden - Meyerhof pathways المسارات الرئيسية لتحلل الكاربوهيدرات في معظم الخلايا. وتحدث في السايتوبلازم وهي لاتحتاج الى الاوكسجين ، وتحلل فيها جزيئة الكلوكوز لتعطي حامض البيروفك (مركب ثلاثي الكاربون) ثم تحرر الطاقة التي تكون كافية لبناء جزيئتين من الـ ATP.

يتحول بعد ذلك حامض البيروفيك الى الكحول الاثيلي ethyl alcohol وحامض اللاكتك Lactic acid تحت الظروف غير الهوائية في الخلايا (مثل خلايا الخميرة والعضلات) وكما هو مبين ادناه :

$$\text{في خلايا الخميرة = حامض البيروفيك} \xrightarrow{-CO} \text{أسيتيلديهيد}$$

$$\text{Acetaldehyde} \longrightarrow \text{كحول أثيلي + طاقة}$$

$$\text{في الخلايا العضلية = حامض البيروفيك} \xrightarrow[\text{Lactic dehydrogenase + NADH}]{\text{ديهيدروجينيز اللاكتك}}$$

حامض اللاكتك + NAD + طاقة.

وعند دخول حامض البيروفيك المايتوكندريا بوجود الاوكسجين في الخلايا فإنه يتأكسد الى CO_2 , H_2O .

٢- نزع مجموعة الكربوكسيل التأكسدية :-
Oxidative Decarboxylation

وهي العملية التي فيها تتحول جزيئتين من حامض البيروفيك في المايتوكندريا الى جزيئتين من أستيل CoA. تحتاج عملية اكسدة وإزالة ثاني أوكسيد الكربون للبيروفيك وتحويله الى أستيل CoA ثلاثة أنزيمات مختلفة وهي بيروفيت ديهيدروجينيز pyruvate dehydrogenase و الدايهيدروكسيليبويل ترانس أستيليز dihydrolipoyl transacetylase والداهيدروكسيليبويل ديهيدروجينيز dehydroxylipoyl dehydrogenase كذلك يحتاج التفاعل الى خمسة انواع مختلفة من مساعدات الانزيم او مجاميع مترابطة وهي مساعد الانزيم A (CoA) والنيكوتينماييد ادنين ثنائي النيوكليوتيد nicotinamide adenine (NAD) dinucleotide وحامض الليويد lipoid acid والمنيسيوم Mg والثايمين بايروفوسفايت thiamine pyrophosphate.

٣- دورة كريبس :
Krebs cycle

كما هو مبين في الشكل ٧ - ٣ فإن مجاميع الاستيل المشتقة من الكاربوهيدرات والدهون والاحماض الامينية تدخل الى دورة الحامض ثلاثي الكربوكسيل tricarboxylic acid cycle او دورة كريبس krebs cycle بنظام انزيمي ومساعد انزيمي متعدد . تأخذ دورة كريبس مكانها في المادة البينية matrix للمايتوكوندريا .

في كل دورة كريبس واحدة تتكثف جزيئة واحدة من استيل CoA (الحاوي على ذرتي كاربون) (يشكل استيل CoA) مع جزيئة واحدة من حامض الاوكزالواسك oxaloacetic acid (الحاوي على أربعة ذرات كاربون) . ليعطي حامض الستريك citric acid (مركباً يحوي على ست ذرات كاربون) . يتحلل هذا الاخير بعد ذلك وبواسطة سلسلة من التفاعلات المتعاقبة بحيث يفقد جزيئتين من CO_2 ويعاد توليد جزيئة واحدة من حامض الاوكزالواسك oxaloacitic acid، ثم يتحد بعد ذلك هذا الحامض مع جزيئة اخرى من أستيل CoA لتبدأ الدورة من جديد. ويتضح من ذلك ان في كل دورة كاملة تدخل جزيئة واحدة من أستيل CoA وتخرج جزيئان من CO_2 وكذلك تستخدم جزيئة واحدة من حامض الاوكزالواسك ويعاد توليدها عند نهاية الدورة.

السلسلة التنفسية والفسفرة التأكسدية :
Respiratory Chain and Oxidative Phosphorylation

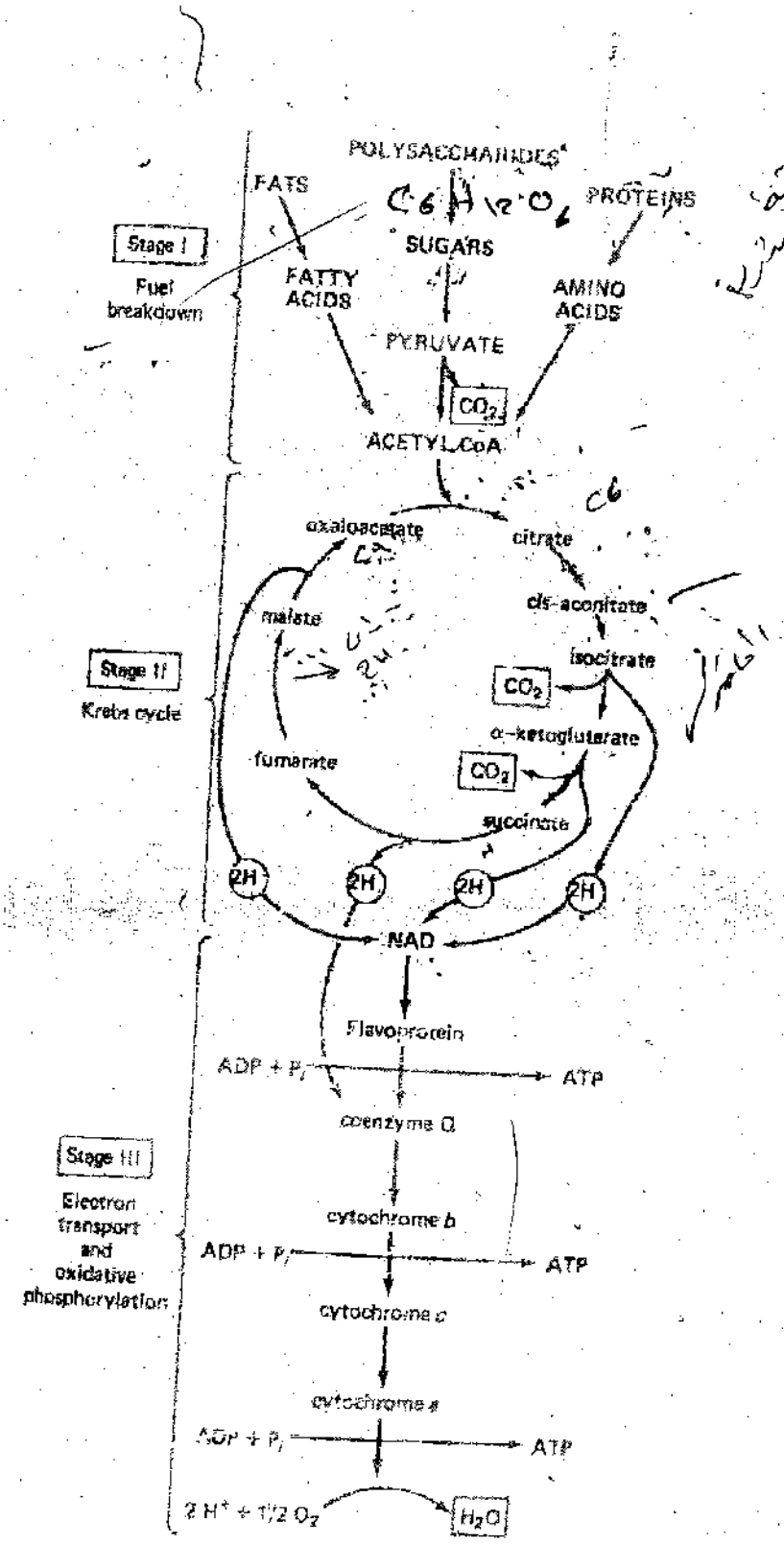
في دورة كريبس تتأكسد جزيئة واحدة من أستيل CoA وتختزل معها كذلك جزيئة واحدة من الفلافوبروتين FAD (flavoprotein) وثلاث جزيئات من NAD. تتأكسد هذه الانزيمات المساعدة المختزلة بواسطة نظام انزيمي ومساعدات الانزيم التي تسمى بالسلسلة التنفسية respiratory chain أو نظام النقل الالكتروني electron transport system الذي يحدث في الاغشية الداخلية للمايتوكوندريا. تتحرر في هذه العملية التأكسدية كمية كبيرة من الطاقة ويستخدم قسم منها من وحدات ثانوية للغشاء الداخلي التي تسمى بدقائق F_1 (F_1 particles) التي لها عوامل ازدواجية ثلاثة وأنزيم ATPase (adenosine triphosphataese) في بناء جزيئات ATP. يطلق على عملية تكوين جزيئات ATP خلال عملية الاكسدة بالفسفرة التأكسدية oxidative phosphorylation (شكل ٧ – ٣).

ثانياً : بناء الـ ATP من جزيئة الكلوكوز :
Synthesis of ATP from a Molecule of glucose

لو تتبعنا مايحصل من احداث في عملية التنفس الهوائي والموضحة في الشكل ٧ - ٣ وبصورة مختصرة لاتضح انه عند تحلل جزيئة الكلوكوز فإنها تعطي حامض البيروفيك في السايتوبلازم. وتتحول جزيئتين من حامض البيروفيك في المايتوكوندريون الى جزيئتين من أستيل CoA وبمساعدة ثلاثة انزيمات وخمسة عوامل مساعدة. جزيئة واحدة من استيل CoA في دورة كريبس تنتج ثلاث جزيئات من NADH وجزيئة واحدة من الفلافوبروتين المختزل(FP أو FAD) ، و ١٢ جزيئة من الـ ATP. أما الجزيئة الاخرى لـ ATP فإنها تنتج من تفاعل السكسينيل مساعد الانزيم A سينثتيز succinyl Coenzyme A synthetase.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O + 38ADP + 38P \xrightarrow{\text{انزيمات التنفس}} 6CO_2 + 12H_2O + 38ATP$$

بذلك فمن مجموع ٣٨ جزيئة ATP ، ثمانية تنتج من عملية التحلل السكري glycolysis لجزيئة واحدة من الكلوكوز و ٣٠ من جزيئتين من حامض البيروفيك.



الشكل ٧ - ٣ : خطط لعملية التنفس الهوائي يوضح دورة كريبس ، انتقال الالكترونات والفسفرة التأكسدية .

ثالثاً : المسارات الرئيسة لانتقال الالكتروني :

Main Lines of Electron Transfer

إن انتقال الالكترونات وأيونات الهيدروجين خلال السلسلة التنفسية respiratory chain أو نظام النقل الالكتروني electron transfer system يترافق مع أكسدة للجزيئة المانحة وأختزال للجزيئة المستلمة وفي الاخير تصل الالكترونات وأيونات الهيدروجين الى الاوكسجين الجزيئي ليتكون الماء (شكل ٧ - ٣).

إن أيونات الهيدروجين الناتجة من أكسدة مواد التفاعل البيروفيت pyruvate والايسوسترييت isocitrate والمالات malate وألفا كيتوكلوتاريت α-Ketoglutrate تنتقل الى NAD^+ فتختزله الى NADH ثم تنقل بعد ذلك الى الفلافوبروتين FAD فيتأكسد الاول(NAD^+)ويختزل الثاني ($FADH_2$) ، وبانتقال ايون الهيدروجين الى مساعد الانزيم Q (CoQ) يتأكسد $FADH_2$ ويختزل CoQ. أما جميع الحوامل التالية في السلسلة التنفسية فهي سايتوكرومات والتي هي عبارة عن بروتينات تحتوي على الحديد ،تقوم بنقل الالكترونات من مساعد الانزيم Q الى الاوكسجين الجزيئي. تختزل السايتوكرومات ($a_3 + a \cdot c \cdot b$) عندما يتحول Fe^{+3} الى Fe^{+2} بأنتقال الكترون واحد. وعندما تصل الالكترونات وأيونات الهيدروجين الى الاوكسجين الجزيئي يتكون الماء.

المنشأ : Origin

لقد افترضت عدة مناشيء للمايتوكوندريا وفيما يلي بعض منها :

١- على الرغم من بعض التشابه الذي تظهره المايتوكوندريا للبلاستيدات الا انه لايوجد اي دليل على ان المايتوكوندريا ناتجة من البلاستيدات او انها تولد البلاستيدات. وقد دُعم هذا القول من دراسة الرايبوسومات في العضيات الخلوية حيث تبين ان معامل ترسيب رايبوسومات البلاستيدة الخضراء S ٧٠ في حين معامل ترسيب رايبوسومات المايتوكوندريا يختلف باختلاف الكائنات الحية حيث يتراوح بين ٥٠ - ٦٠ S.

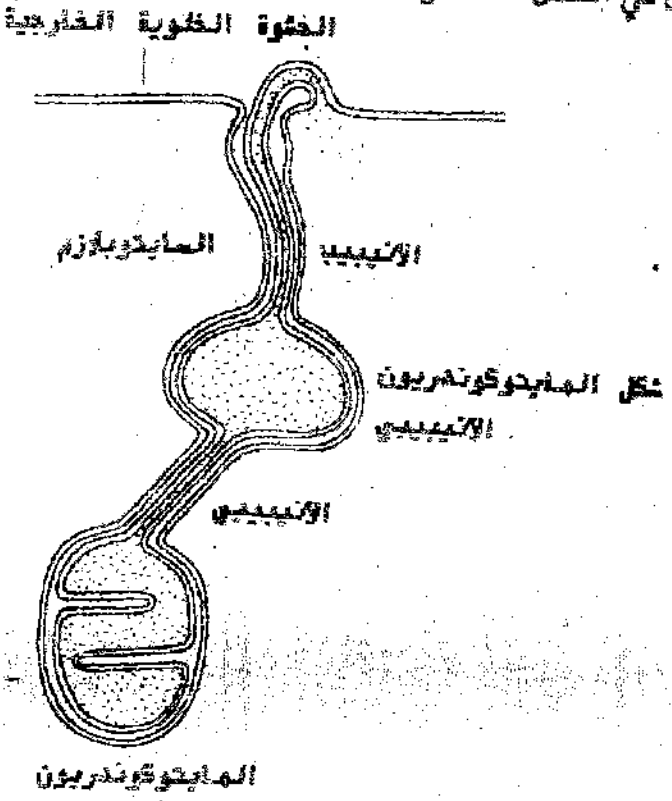
٢- اقترح روبرتسون Robertson مخططه الذي يمكن أن تنشأ منه المايتوكوندريون وقد وضع احتمالات النشوء من :

أ – غشاء البلازما.

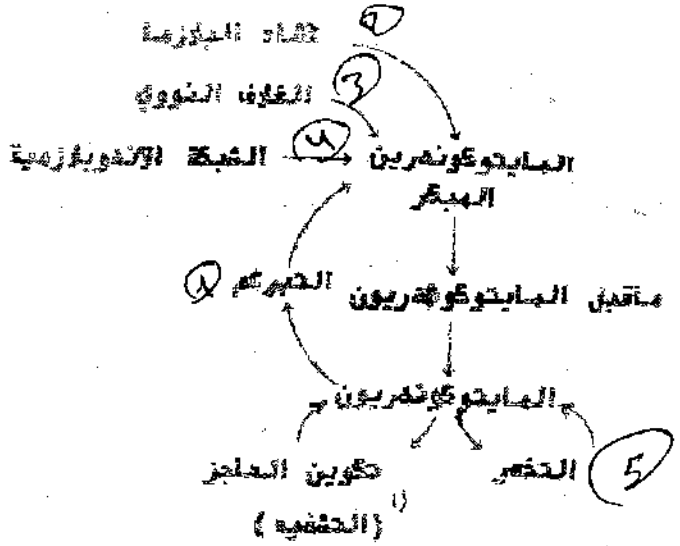
ب – الشبكة الاندوبلازمية.

ج – الغلاف النووي.

كما هو مبين في الشكل ٧ – ٤ و ٧ – ٥.



الشكل ٧ – ٤ : مخطط للآلية المحتملة في تكوين السايتوكوندريون من غشاء البلازما.



الشكل ٧ – ٥ : مخطط للاحتمالات التي يمكن ان تنشأ منها السايتوكوندريون.

المنشأ التطوري : Evolutionary Origin

لقد لقي المنشأ التطوري للمايتوكوندريا اهمية متزايدة في السنوات الاخيرة ، بسبب حقيقة اشتراك المايتوكوندريا في كثير من خصائصها الشكلية وكيمياتها الحياتية مع البكتريا والبلاستيدات النباتية ، في حين تكون خصائصها المشتركة مع الخلايا ذات النوى الحقيقة قليلة كما هو موضح في الجدول ٧ – ١ .

وعلى اساس الاختلاف المبين في الجدول ٧ – ١ فقد قدر ان اسلاف الكائنات الحرة المعيشة الشبيهة بالبكتريا كونت علاقة تعايشية مع خلية سلفية لاهوائية ذات نواة حقيقية، التي كانت حتى ذلك الحين تشتق طاقتها من تحلل السكر من المادة البينية لسايتوبلازمها، واخيراً اعطت الكائنات البدائية النواة – الهوائية – المبتلعة من الخلية مايتوكوندريا عن طريق فقدان بعض خصائصها.

بينما احتفظت بغشائها الذي اصبح الغشاء الداخلي للميتوكوندريون ، أما الغشاء الخارجي فقد اشتق من خلية ذات نواة حقيقية خلال عملية الالتهام الخلوي والشرب الخلوي وهذا يفسر الفروق الواضحة بين غشائي المايتوكوندريون الداخلي والخارجي (شكل ٧ – ٦).

اللوموسوم : Lomosomes

وهي تُعد التفافات داخلية في غشاء البلازما في شكل انبيبيات او كبيبات تظهر في بعض الفطريات . لم يعرف شيء حول وظيفة هذه الاجسام ، ولكنها من الناحية التركيبية شبيهة بالميزوسوم لقسم من البكتريا وقد يكون لها نفس الوظيفة (شكل ٧–٧).

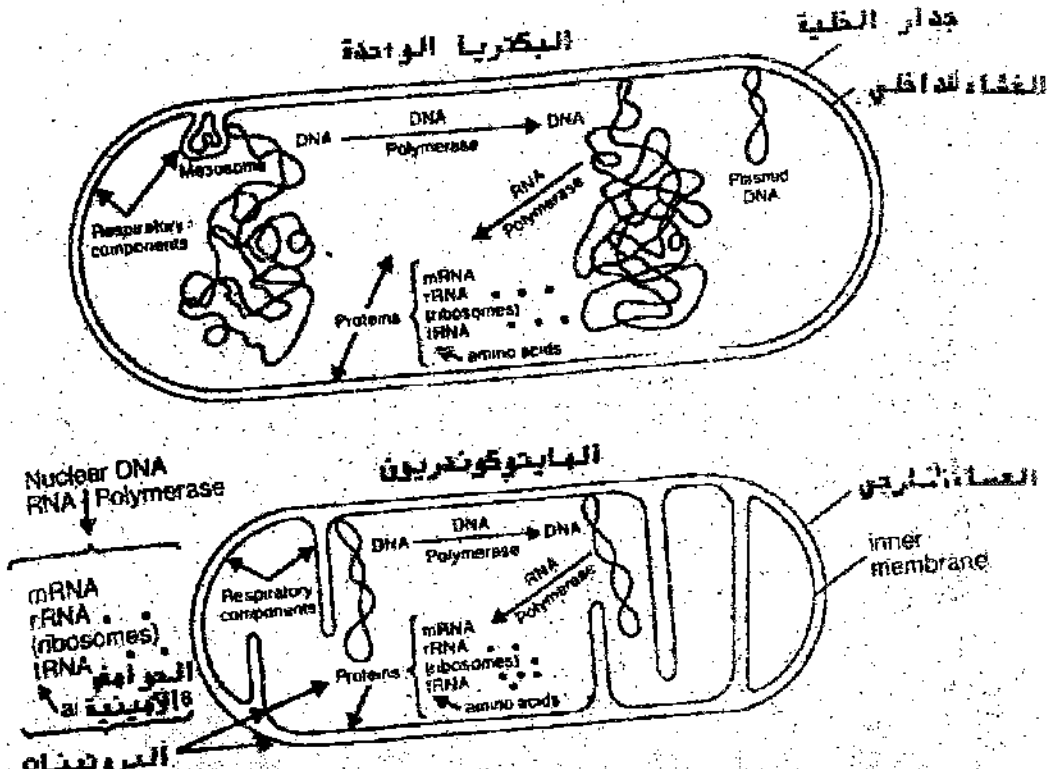
الميزوسوم : Mesosomes

وهي عبارة عن انبعاجات غشائية معقدة في جدار البلازما لقسم من البكتريا يصل حجم هذا الانبعاجات احياناً الى مايقرب من ٠٠٠ر٥ر٢ أنكستروم في قطرها وهي على شكل انبيبيات اصبعية او كبيبات. اظهرت دراسات الكيمياء الحيوية للميزوسوم ان اغشيتهم تكون فعالة في الفسفرة التأكسدية. وبهذا يمكن مقارنتهم من الناحية الوظيفية بالمايتوكوندريا في حقيقية الخلايا ، وقد أفترضت انها من الممكن ان تكون مصدر المايتوكوندريا في حقيقية النواة خلال فترة التطور (شكل ٧ – ٨).

الجدول (٧ - ١)

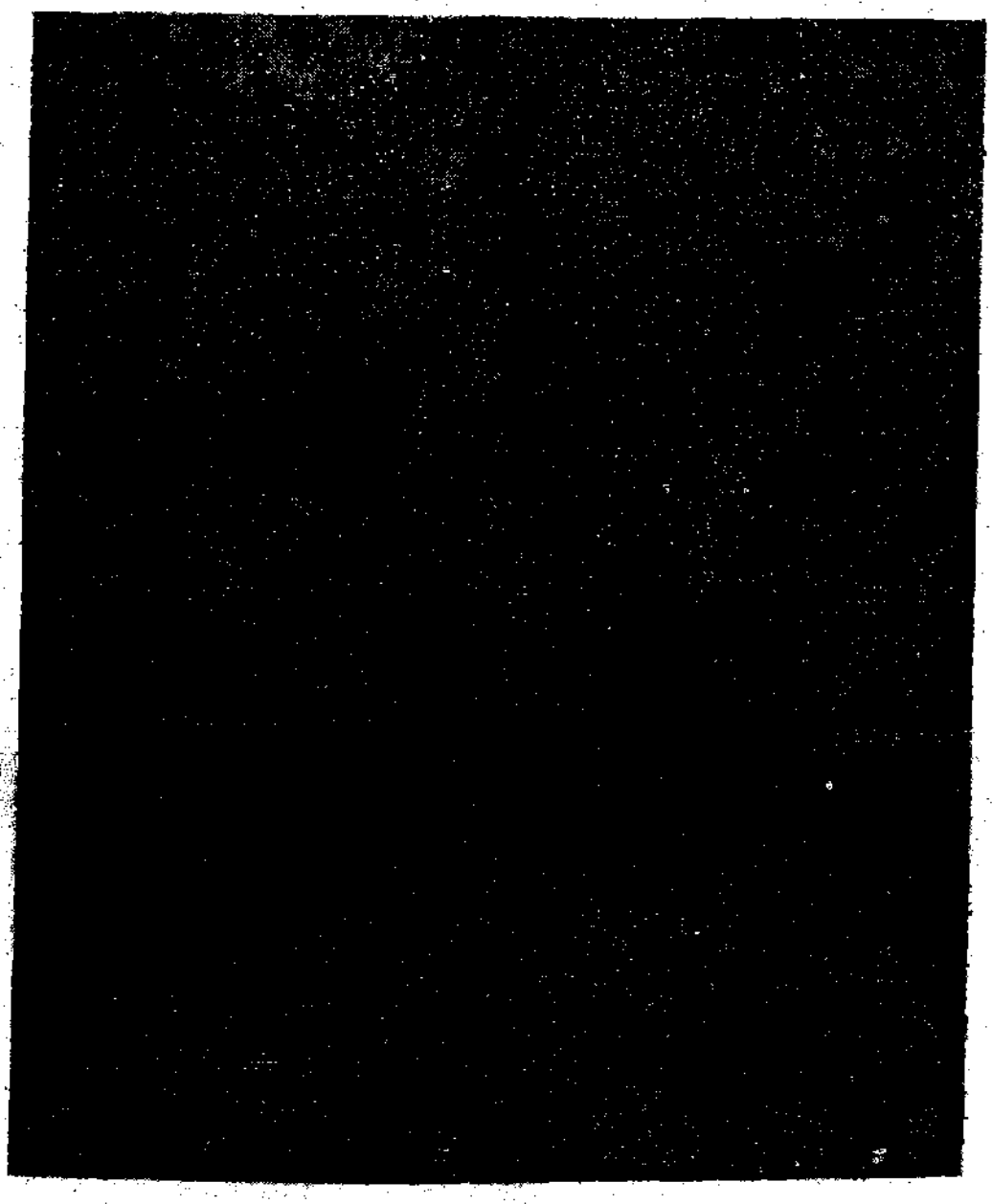
يوضح اوجه التشابه بين بدائية النواة والمايتوكوندريون واختلافها عن حقيقية النواة.

الصفة	حقيقية النواة	بدائية النواة	المايتوكوندريا
١) الغلاف النووي	موجود	غير موجود	غير موجود
٢) الكروموسومات (او الصبغيات	موجود ، يرتبط الـ DNA بالهستون	غير موجود ، لايرتبط الـ DNA بالهستون	غير موجود ، لايرتبط الـ DNA بالهستون
٣) النقل الالكتروني و الفسفرة التأكسدية	تقع فوق الغشائية المايتوكوندريا	تقع فوق اغشية الخلية	تقع فوق الاغشية
٤) بناء البروتين	لاتثبط العملية باستخدام الكلورومفينيكول وتجرى العملية في الفسفرة التأكسدية	تثبط باستخدام الكلوروفينيكول تعتمد على الفسفرة التأكسدية	تثبط باستخدام الكلوروفينيكول تعتمد على الفسفرة التأكسدية
٥) الرايبوسومات	S ٨٠	S ٧٠	S ٦٠



الشكل ٧ - ٦ : مخطط يبين التشابه بين خصائص البكتريا والمايتوكوندريون.

Peronospora tabacina الفطر



الشكل ٧ – ٨ : الميزوسوم في البكتريا .