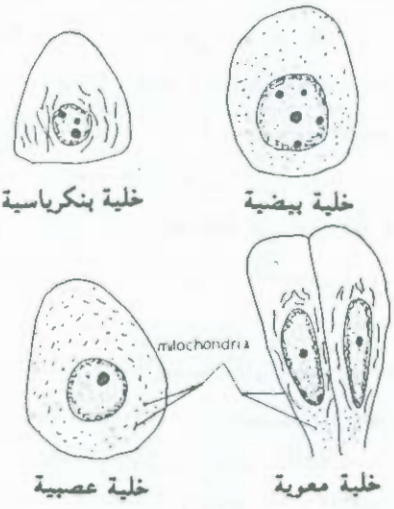
الفصل السابع

الميتوكندريا MITOCHONDRIA

كان ألتمان (Altmann) أول من وصف الميتوكندريا أو الكندريوسومات فى الخلايا العصبية فى عام ١٨٩٠ ، ثم تبعه بندا (Benda) فى عام١٨٩٧ ، وبعد ذلك أجريت بحوث كثيرة ثبت منها أن الميتوكندريا موجودة فى جميع الخلايا الحيوانية والنباتية .

والميتوكندريا عضيات حية موجودة فى سيتوبلازم الخلية . وترى بالميكروسكوب الضوئى على هيئة قضبان قصيرة أو خيوط دقيقة أو حبيبات صغيرة أو حوصلات . ويطلق



(شكل ٣٥)
نماذج من أشكال الميتوكندريا فى أنواع مختلفة من الخلايا

عادة على الأنواع التى توجد على شكل قضبان أو خيوط الكندريوكنتات (chondrioconts) ، أما الحبيبات فيطلق عليها كوندريوميتات (chondriomites) والكرية تسمى كندريوسفيرات (cohondriosphete) .

ويذكر كاودرى (Cowdry) أن هذه العضيات قد أطلق عليها حوالى خمسون اسما ،

ولكن ظل لفظ ميتوكندريا هو الأكثر استخداما . ويتكون هذا الاسم من لفظين لاتينين " ميتوس (mitos) = خيط ، كوندروس (chondros) = حبيبة " .

وتعتبر الميتوكندريا المولدات النباتية للطاقة (power plants) فى الخلايا ، أو ماكينات بيولوجية يتم فيها تحويل الطاقة الكيماوية الموجودة فى المواد الغذائية إلى نوع من الطاقة يتم استخدامه بواسطة الخلايا .

توضيح الميتوكندريا (demonstration) :

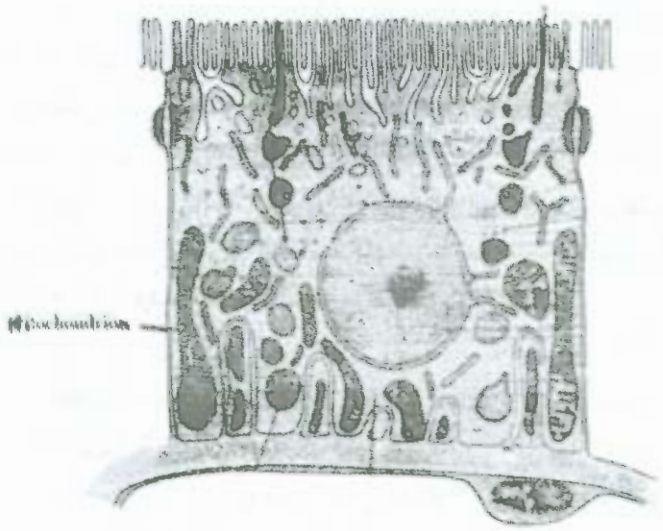
يمكن باستخدام ميكروسكوب التباين مشاهدة الميتكوندريا فى الخلايا الحية . ولكن ليس من السهل رؤيتها بالميكروسكوب الضوئى العادى نظرا لأن معامل انكسارها منخفض . ويمكن صبغ الميتكوندريا فى الخلايا الحية بمحاليل مخففة من صبغات **جانس الخضراء والسوداء** (Janus green & janus black) . ويصبغ جانسى الأخضر الميتوكندريا الحية بلون أخضر مشرب بالزرقة . ويرجع هذا اللون الى انزيم سيتوكروم اكسيديز الموجود فى الميتوكندريا ، فهو يعمل على الحفاظ على الصبغة فى صورتها المؤكسدة (الملونة) . ولكن هذه الصبغة تختزل إلى مادة قاعدية عديمة اللون فى السيتوبلازم المحيط بالميتوكندريا .

وتصبغ الميتوكندريا فى الخلايا المثبتة بواسطة **الفكسين الحمضى لألتمان** (Altmanns acidfuchsin) والومينات حديد الهياتوكسلين (iron-alum haematoxylin) ومحلول ريجو (Regaud's fluid) ومحلول بندا **البنفسجى البلورى** (Bends's crystal violet) . **والأليزارين** (alizarin) ومحلول **شامبى** (champy's fluid) وغيرها .

والميتوكندريا أجسام حساسة ولذلك فإنها قد تتفتت تحت تأثير المثبتات ولهذا يستخدم فى تثبيتها محاليل تعمل على الحفاظ على التركيب الدهنى البروتينى فيها وذلك تحت تأثير طويل المدى لمحاليل مؤكسدة مثل رباعى أكسيد الأوزميوم وحامض الكروميك وبيكرومات البوتاسيوم .

أشكال الميتوكندريا : Morphology of mitochondria

شكل الميتوكندريا ومكانها مميزة لكل نوع من أنواع الخلايا (شكل ٣٥) . ففى خلايا البنكرياس تكون على هيئة خيوط طويلة ، بينما تكون حبيبية الشكل فى البويضات والخلايا



(شكل ٣٦)
الميتوكندريا فى خلية كلوية

المنوية ، وفى الخلايا العصبية توجد الميتوكندريا على هيئة حبيبات وقضبان قصيرة ، وفى الخلايا الطلائية للأمعاء تكون الميتوكندريا بيضاوية عند قمة النواة وخيطية على جانبيها بينما تكون على هيئة حبيبات فى الجزء القاعدى للخلية . وقد يتغير شكل الميتوكندريا فى نفس الخلية تبعا لنشاطها كما يحدث فى خلايا الكبد والبنكرياس (شكل ٣٦) .

عدم تجانس الميتوكندريا Heterogenity of mitochondria

وعلى الرغم من أن شكل الميتوكندريا متجانس فى الخلايا المختلفة فى العضو الواحد ، إلا أنه قد يوجد أكثر من نمط فى خلايا العضو الواحد كما هو الحال فى كبد الثدييات . ويطلق على هذه الظاهرة " عدم تجانس الميتوكندريا " (mitochondrial heterogeneity) ، ويعتبر هذا الاختلاف مرتبطا بنشاط الخلايا المختلفة . فعند حافة الفصوص الكبدية تكون الميتوكندريا خيطية ، وفى الخلايا المركزية الداخلية تكون الميتوكندريا حبيبية الشكل ، بينما تحتوى المنطقة المتوسطة من الفصول الكبدية على خليط من الميتوكندريا الحبيبية والعضوية والخيطية . ويعتقد بعض العلماء ان المناطق الخارجية للفصوص تمثل أجزاء بالغة النشاط (maximum) وتكون المناطق المتوطة بينهمـــا متوسطة النشاط (intermediate activity) بينما تعتبر المناطق الداخلية بالغة الخمول (maximum repose) ، وتفسير ذلكأن ، الوريد الكبدى البابى الذى يحمل المواد الغذائية المهضومة من القناة الهضمية يصل الى حواف الفصوص الكبدية أولا , وهنا يتطلب نشاطا مرتفعا فى تلك الخلايا .

ويختلف **حجم** (size) الميتوكندريا فى الخلايا المختلفة ، ففى معظم الخلايا يكون عرض الميتوكندريا ثابت تقريبا (حوالى ٥ر. ميكرون) ولكن أطوالها تختلف وقد تصل إلى ٧ ميكرونات . ويتوقف طول الميتوكوندريا على نشاط الخلية ، وبذلك يمكن مشاهدة أنواع رفيعة جدا (٢ر. ميكرون) أو قضبان غليظة نسبيا (٢ ميكرون) . كذلك يتوقف حجم الميتوكندريا وشكلها على الضغط الأسموزى والأس الهيدروجينى للمثبت المستخدم .

ويختلف **عدد** (number) الميتوكندريا تبعا لنوع الخلايا ووظائفها وحالتها ، فمثال يبلغ متوسط عدد الميتوكندريا فى الخلية الكبدية للثدييات ٢٥٠٠ تقريبا ، وينخفض هذا العدد انخفاضا كبيرا (٢٠٠ - ٨٠٠) عندما تصبح الخلية الكبدية سرطانية .

وتنتشر الميتوكندريا عادة فى أنحاء السيتوبلازم ولكنها فى حالات قليلة قد تتركز فى مناطق معينة فى السيتوبلازم كما فى خلايا الكلية (شكل ٣٦) حيث تتجمع الميتوكندريا فى المنطقة القاعدية للخلية قريبا من الشعيرات الدموية . وقد تتكدس الميتوكندريا حول النواة أو عند حافة الخلية ، إلا أن هذا التواجد يشاهد عادة فى الحالات المرضية .

كذلك يشاهد هذا التوزيع فى الخلايا التى تحتوى على كميات كبيرة من المحتويات الخلوية (مثل الجليكوجين والدهون) التى تدفع الميتوكندريا إلى منطقة معينة من الخلية .

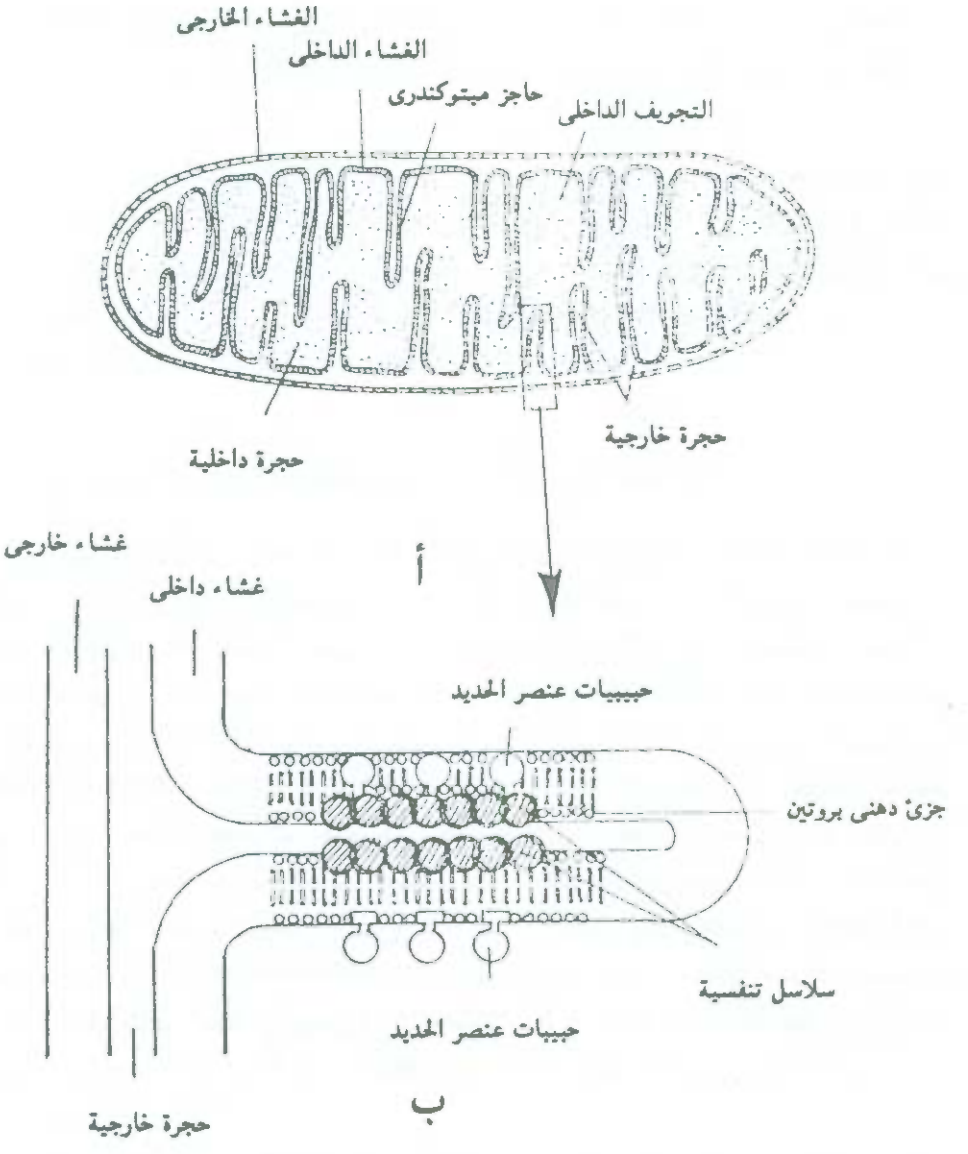
وتوزيع الميتوكندريا مرتبط بوظيفتها كمصدر للطاقة ، فهى تتحرك بحرية فى بعض الخلايا حاملة معها الادينين ثلاثى الفوسفات (ATP) إلى حيث تحتاج الخلية ، وفى حالات أخرى تتركز الميتوكندريا فى المكان الذى يكون فى حاجة أشد إلى مزيد من الطاقة . ففى خلايا شبكية العين (القضبان والمخروطات) تحتل الميتوكندريا المنطقة الداخلية ، بينما تشاهد عند حافة السيتوبلازم فى الخلايا العصبية الحركية .

التركيب الدقيق للميتوكندريا (ultrastructure) :

تظهر الميتوكندريا عند تصويرها بالميكروسكوب الالكترونى محاطة بغشاء خارجى أملس (سمكه حوالى ٦٠ انجستروم) يبدو أنه يرتبط بخاصية النفاذية فى هذه العضيات . ويوجد للداخل من هذا الغشاء وعلى مسافة سمكها حوالى ٦٠ - ٨٠ انجستروم غشاء آخر (سمكه حوالى ٦٠ انجستروم) يمتد داخل تجويف الميتوكندريا على هيئة عدد من الحواجز أو **الفواصل** (يطلق عليها الأعراف أو الحواجز الميتوكندرية (mitochondrial ridges or cristae-mitochondriales) تقسم التجويف الداخلى إنقساما غير تام إلى عدد من الحجرات الصغيرة . وعلى ذلك يقسم الغشاء الداخلى الميتوكندريا إلى حجرتين : (أ) حجرة خارجية تقع بين الغشائين وتمتد داخل الحواجز الميتوكندرية ، (ب) حجرة داخلية يحدها الغشاء الداخلي وتمتلئ بمادة كثيفة نسبيا يطلق عليها « المادة الخلالية للميتوكندريا » " mitochondrial matrix " (شكل ٣٧ و ٣٨) .وتكون هذه المادة متجانسة عادة ، ولكن تظهر فيها فى بعض الحالات مادة خيطية رقيقة أو حبيبات عالية الكثافة . وتعتبر هذه الحبيبات أماكن للربط بين الكاتيونات الثنائية خاصة المجنيزيوم والكالسيوم .

ولا يختلف تركيب الغشاء الخارجى للميتوكندريا فى أى نوع من الأنواع ، ولكن الغشاء الداخلي والحواجز الميتوكندرية متغيرة فى الأنواع المختلفة من الميتوكندريا . ويختلف الغشاءان عن بعضهما فى الميتوكندريا الواحدة .

وكما سبق القول فإن الحواجز الميتوكندرية تقسم الحجرة الداخلية انقساما غير كامل ،



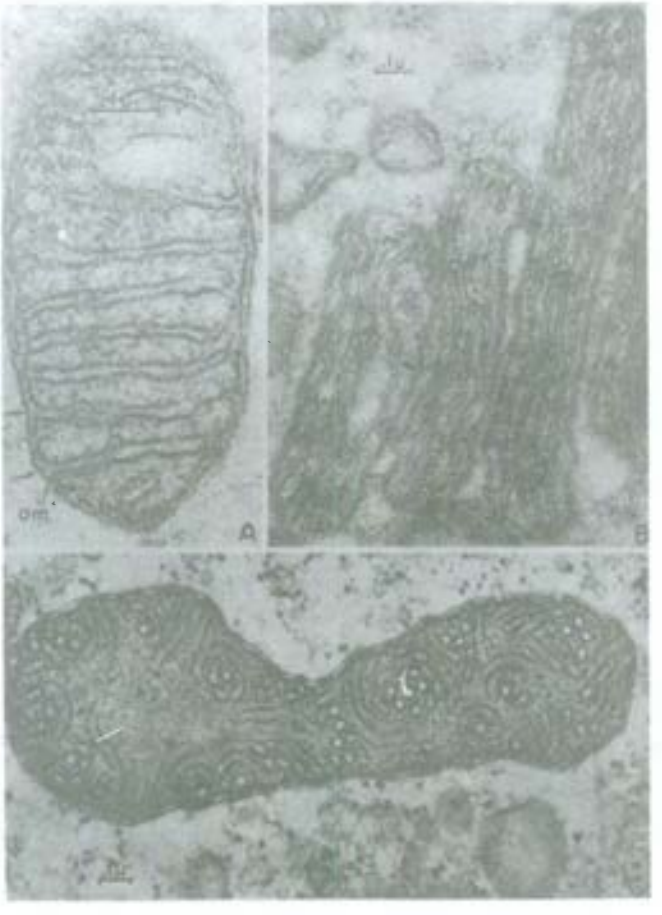
(شكل ٣٧)
التركيب الدقيق النموذجى لأحد الميتوكندريا

وتمتد هذه الحواجز عرضيا عبر الميتوكندريا أو طوليا موازية للمحور فى البعض الآخر ، أو قد تكون حلزونية فى بعض الأنواع (شكل ٣٨) .

(شكل ٣٨)
الميتوكندريا بالميكروسكوب الالكترونى

وفى بعض الأنواع تتفرع هذه الحواجز مكونة شبكة كثيفة داخل الميتوكندريا . ويعتبر وجود هذه الحواجز ومظهرها نوعا من التحور للحصول على سطح متسع تتم عليه العمليات الحيوية . وهذا واضح من فحص الميتوكندريا فى خلايا العضلات (بما فى ذلك عضلات القلب وعضلات الطيران) حيث يلاحظ بها وفرة من الحواجز الميتوكندرية (شكل ٣٩) .

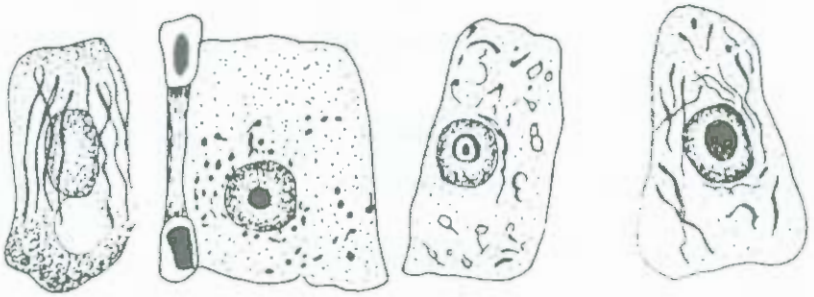
كذلك تحتوى الميتوكندريا على حبيبات بالغة الدقة موزعة بانتظام على الحواجز الميتوكندرية ، وتمثل هذه الحبيبات تجمعات من الإنزيمات التنفسية وتحتوى كل ميتوكندريا فى الخلايا الكبدية على حوالى ١٥٫٠٠٠ من هذه التجمعات الانزيمية ، وقد يبلغ عددها ١٠٠٫٠٠٠ فى خلايا عضلات الطيران ، ولذلك تعتبر الميتوكندريا **بطاريات انزيمية** (enzyme batteries) .



(شكل ٣٩)
أنماط مختلفة لتنظيم الحواجز الميتوكندرية (بالميكروسكوب الالكترونى)

سلوك الميتوكندريا (Behaviour) :

تستجيب الميتوكندريا لتغيرات الضغط الأسموزى الذى يحدث فى الوسط الموجودة به . وتكون الميتوكوندريا دائما فى حالة حركة مستمرة ، قد تكون حركة اهتزازية فى اماكنها او حركة نشطة من منطقة إلى أخرى فى السيتوبلازم . ويرى البعض أن الميتوكندريا حساسة للحرارة وأنها تنصهر عند حوالى ٥٠° م وإن كان البعض الآخر قد أنكر ذلك .



(شكل ٤٠)
التغيرات التى تحدث فى الميتوكندريا فى الخلايا الكبدية تحت تأثير التجويع والتغذية العادية

وترتبط بعض تغيرات الميتوكندريا بحالتها الوظيفية ، فعلى سبيل المثال عند تجويع الحيوان لبضعة ايام تنتفخ الميتوكندريا وتصبح مادتها **الخلالية** (matrix) رائقة صافية ويصحب ذلك تغير فى تركيبها الداخلى . وعقب اغتذاء الحيوان تعود الميتوكندريا الى حالتها العادية . (شكل ٤٠)

وللميتوكندريا حساسية بالغة لما يحدث فى الخلايا . ولهذا فان الضغط الهين على الأنسجة قبل تثبيتها كفيل بتفتيت الميتوكندريا الخيطية إلى حبيبات صغيرة . وفى خلايا الحيوان المصاب بالإسقربوط تنكسر الميتوكندريا وتتجمع مع بعضها . وعند التسمم بالسيانور فإن الميتوكندريا على الرغم من احتفاظها بشكلها إلا أن حركتها تقل بدرجة كبيرة . فاذا علمنا أن السيانور يبطئ بعض انزيمات التنفس ، فإن ذلك يلقى ضوءا على أن الميتوكندريا لها وظيفة تنفسية فى الخلايا .

وعند استخدام القوة الطاردة المركزية العالية تتكتل الميتوكندريا نحو قطب الخلية البعيد عن المركز (**قوة مركزية طاردة** Centrigugal force) بينما يتجه جهاز جولجى نحو القطب القريب من المركز (**قوة مركزية جاذبة** Centripetal force) ، ومعنى ذلك أن الميتوكندريا أثقل من اجسام جولجى ، كذلك يمكن استخلاص الميتوكندريا من الخايا الكبدية وذلك تحت تأثير القوة الطاردة المركزية .

وفى أثناء انقسام الخلية تظهر الميتوكندريا ميلا نحو التجمع حول مغزل الخلية ، وعند الانقسام فإن الخليتين الناتجتين تتقاسمان الميتوكندريا بالتساوى .

التركيب الكيماوى للميتوكندريا ووظائفها :

Chemistry and functions of mitochondria

يختلف التركيب الكيماوى للميتوكندريا فى خلايا الأنسجة المختلفة فى الظروف المتباينة ، كما يتأثر بالتغيرات المرضية فى الخلايا ، وتحتوى الميتوكندريا على كل من الليبيدات (حوالى ٣٠٪) والبروتينات (حوالى٧٠٪) . وقد اقترح بورن (Bourne) فى عام ١٩٤٢ أن الميتوكندريا قد تكون محاطة بطبقة بروتينية تمنع عنها تأثير الصبغات الذهنية . ويعطى تفاعل ميلون (Millon reaction) - المميز للبروتينات - نتائج إيجابية مع الميتوكندريا . وعندما يتم هضم او استخلاص البروتينات من الميتوكندريا بواسطة أنزيم الببسين فإنه يتعذر عندئذ توضيح الميتوكندريا بواسطة تفاعل ميلون .

وباستخدام الميكروسكوب الفلورسنتى تبين أن الميتوكندريا تحتوى على ڤيتامين أ . وتعطى الميتوكندريا أيضا تفاعلا موجبا مع ثلاثى كلوريد الانتيمون الذى يميز الكاروتينات (carotenoids) بصورة عامة . كما تمكن بعض الباحثين من توضيح الميتوكندريا باستخدام نترات الفضة مع حامض الخليك مما يشير الى احتوائها على ڤيتامين حـ . وقد أشار البعض أيضا الى وجود أنواع من ڤيتامين ب المركب (vitamin B-complex) فى الميتوكندريا .

ويوجد الحديد (iron) فى الميتوكندريا كعنصر أساسى فى تركيب إنزيمات السيتوكروم . ويرى بعض العلماء أن الميتوكوندريا تحتوى على إنزيمات بروتوليتية (انزيمات محللة

البروتينات (proteolytic enzymes) . وقد توضح ذلك بالمثال التالى : شوهد فى الأميبا أن المواد الغذائية الدقيقة تتجمع بجوار الميتوكندريا ، وعندئذ تتكون فجوة غذائية (food vaculole) تحتوى عليهما معا . ويصحب هضم الطعام داخل تلك الفجوات اختفاء الميتوكندريا تدريجيا مما يشير إلى استهلاك الميتوكندريا فى عملية الهضم .

والإنزيمات التنفسية (respiratory enzymes) مثل السيتوكروم المؤكسد (**سيتوكروم اكسيديز** cytochrome oxidase) وإنزيم نازع الهيدروجين السكسينى (**سكسينيك دى هيدروجينيز** succinic dehydrogenase) موجودة بوفرة فى الميتوكندريا . وعلى ذلك تعتبر الميتوكندريا مراكز التنفس فى الخلايا . وقد لاحظ جرين (Green) فى عام ١٩٦١ أن الميتوكوندريا بالرغم من تفتتها إلى قطع صغيرة فانها ظلت مستمرة فى أداء وظائفها التنفسية . ويلاحظ أن سلاسل الأحماض الدهنية الطويلة تتأكسد إلى ثانى أكسيد الكربون والماء تحت تأثير الميتوكندريا المتفتتة . ويمكن الاستدلال على وجود الانزيمات التنفسية فى الميتوكندريا من أن السيانيد - المعروف عنه انه يعمل على تثبيط العمليات التنفسية - يتسبب أيضا فى أن الميتوكندريا تعجز عن أداء وظائفها التنفسية .

ولتوضيح دور الميتوكندريا فى التنفس ، وجد كل من موسى وبنهاوى فى عام ١٩٦٢ أن المبيدات الحشرية تؤثر على الميتوكوندريا فى الخلايا العصبية للحشرات ، فتتجمع الميتوكوندريا مع بعضها مكونة كتلا كبيرة الحجم نسبيا . وقد انعكس ذلك على تنفس الحشرة فأصبح عميقا وعنيفا . ويشير ذلك إلى أن تجمع الميتوكندريا مع بعضها نتج عنه اختزال أسطح الميتوكندريا التنفسية ، ونتيجة لذلك فإن كمية قليلة من الأكسجين هى التى امكن لخلايا هذه الحشرات الاستفادة منها، مما دفع الحشرات إلى بذل مجهود كبير فى عملية التنفس لكى تعمل على إسراع معدلها . وعقب ذلك أخذت الحركات التنفسية فى البطء بصورة تدريجية حتى توقفت تماما وماتت هذه الحشرات .

ويعمل العديد من الإنزيمات والإنزيمات المشاركة (coenzymes) داخل الميتوكندريا فى تنظيم متناسق ، هذا بالاضافة إلى عدة عوامل مشاركة وڤيتامينات ومعادن أساسية لقيام الميتوكندريا بوظائفها . والوقود الأساسى الذى تتطلبه الميتوكندريا هو الفسفات والفسفات ثنائى الأدينين (ADP) ، وينتج عن ذلك فى النهاية الفسفات ثلاثى الأدينين (ATP) بالاضافة إلى ثانى أكسيد الكربون والماء .

والمعروف أن المواد الغذائية الأساسية الثلاثة (الكربوهيدات والبروتينات والدهون) تتحول فى النهاية داخل السيتوبلازم إلى استيل إنزيم A المرافق (acetyl coenzyme A) . وعندما تصل هذه المادة إلى داخل الميتوكندريا فإن مجموعة الخملات تدخل دورة **كريبى ثلاثية الكاربوكسيل** " Kreb's tricarboxylic acid cycle " (وتسمى كذلك **حامض الليمونيك** citric acid cycle) حيث تحدث فيها سلسلة معقدة من التغيرات تحت تأثير انزيمات مختلفة تؤدى إلى انتزاع مجموعة الكاربوكسيل منها ، حيث يفقد ك أ ^{٢} فى أماكن عديدة من هذه الدورة . ويزال أزواج من الالكترونات (أوالمكافئ لها من ذرات الهيدروجين) بواسطة الإنزيمات نازعة الهيدروجين (dehydrogenases) ، ثم تدخل السلسلة التنفسية ، وفى نهايتها تتحد بالاكسجين الجزئى مكونة الماء .

وتعتبر السلسلة التنفسية (وتعرف أيضا بمجرى أو ممر انتقال الالكترونيات) الجهاز الرئيسى لتحويل الطاقة فى الميتوكندريا . وتشتمل المكونات الأساسية للسلسلة التنفسية على اثنين من انزيمات الفلافين البروتينية (succinic and DPN dehydrogenases) ، ٤ أنواع من السيتوكروم وحديد لاهيمى ونحاس ، وإنزيم Q المرافق (coenzyme Q) ، ويتكون الأدينوزين ثلاثى الفسفات (ATP) أثناء عمليات التحول فى السلسلة التنفسية من الأدينوزين ثنائى الفسفات (ADP) ومجموعة الفسفات(أنظر فصل ٢٢ لمزيد من التفصيل) .

مناطق الإنزيمات فى الميتوكندريا

الموجد (المادة الخلالية Matrix)	الأغشية Membranes
دورة كريبس :	سلسلة الانزيمات التنفسية
Kreb's cycle : aconitase malic dehydrogenase fumarase isocitric dehydrogeore condensing enzymes pyruvic and ketoglutaric dehydrogenose fatty acid cycle crotonase acyl dehydrogenase	respiratory chain enzymes: DPN dehydrogenase succinic dehydrogenase cytochrome oxidases isocitric dehydrogeore condensing enzymes pyruvic and ketoglutaric

وعند تعريض معلق من الميتوكندريا لاهتزازات صوتية ، فإن البروتينات الدائبة الموجودة داخل المادة الخلالية تنطلق من الميتوكندريا تاركة الأغشية الميتوكندرية فى الجزء المترسب .

وتمثل البروتينات الذائبة معظم الإنزيمات التى تشتمل عليها دورة كريبس ودورة الأحماض الدهنية ، وتحتوى المادة الخلالية أيضا على نيوكليوتيدات مختلفة وكذلك على نيوكليوتيدات إنزيمات مرافقة والكتروليتات غير عضوية مثل البوتاسيوم k^+ والفسفات HPO_4 والمجنيزيوم Mg^{++} ، والكلوريد Cl^- ، ورباعى أكسيد الكبريت SO_4 . ويحتوى الجزء غير الذائب على جميع إنزيمات السلسلة التنفسية بالاضافة إلى الإنزيمات المكملة (المزاوجة) للفسفرة التأكسدية . ويرى بعض العلماء إن الغشاء الداخلى للميتوكندريا والحواجز الميتوكندرية تحتوى على غالبية - إن لم يكن جميع - إنزيمات هذه السلسلة . وتوجد انزيمات الغشاء الداخلى للميتوكوندريا مرتبة فى تجمعات متماسكة وموزعة بانتظام (على مسافات متساوية) فى الحواجز الميتوكندرية . وتوجد تجمعات الإنزيمات التنفسية فى مجموعات متساوية الجزئيات ، فعلى سبيل المثال يوجد فى السلسلة جزئ من انزيم نازع الهيدروجين السكسينى لكل جزئ سيتوكروم أو سيتوكروم مؤكسد .

ويمكن تلخيص المهمات الوظيفية للميتوكندريا فيما يلى :

١ - تعتبر الميتوكندريا المراكز التنفسية للخلية وذلك لاحتوائها على الإنزيمات التنفسية .

٢ - تحتوى الميتوكندريا - حسب ملاحظة بعض الباحثين - على إنزيمات محللة وانزيمات بناءة (hydrolytic and synthesizing enzymes) فى الكائنات البدائية . وقد قام هورننج (Horning) بتوضيح ذلك فى الاميبا . ويعتقد هذا العالم أن الميتوكندريا تستخدم فى الأوليات (protozon) لهضم المواد الغذائية . كذلك لوحظ فى الكائن البدائى أوبالينا (opalina) أن المواد الخضرية تتجمع علي أسطح الميتوكوندريا ، وبعد فترة تنفصل حبيبات من هذه المواد وتنتشر فى السيتوبلازم . وقد اتضح أن هذه الحبيبات عبارة عن جسيمات بروتينية تم تخليقها من الغذاء الخضرى تحت تأثير الميتوكندريا .

٣ - كذلك يرى البعض أن الميتوكندريا مسئولة عن انتاج حبيبات **الزيموجين** (zymogen) فى خلايا البنكرياس . فاذا كان الأمر كذلك فإن هذا يعنى أن الميتوكندريا تنتج إنزيمات تستخدم فى عملية الهضم خارج الخلايا ، وعلى ذلك يبدو أنها تقوم بوظائف متشابهة فى كل من الحيوانات البدائية والحيوانات الراقية .

٤ - ترتبط الميتوكندريا **بأيض الدهون** (fat metabolism) فى الخلية (شكل ٤١) . ومنذ اكتشاف التمان (Altmann) للميتوكندريا لوحظ وجود علاقة بين الميتوكندريا والليبيدات ، فقد شوهد فى كل من خلايا الكبد والبنكرياس ، بعد فترة وجيزة من تجويع الحيوان ، أن الميتوكندريا تصبح ، لصيقة بقطيرات الليبيد . ويوضح الميكروسكوب الالكترونى أن هناك عملية أيض نشطة قد حدثت فى الدهون تحت تأثير الأحماض الدهنية المؤكسدة الموجودة فى الميتوكندريا . والمعروف أنه بعد وقت قصير من تجويع الحيوان تنتقل عمليات الأيض فى الخلية من الكربوهيدرات الى الأحماض الدهنية التى يتم أكسدتها بنشاط لكى يتيسر استعمالها فى المسار المألوف لدورة كريبس التى توجد فى الميتوكندريا .

٥ - وتلعب الميتوكندريا دورا هاما فى تكوين المح الزلالى (albuminous yolk) فى البويضات .

٦ - وتكون الميتوكندريا غلاف الخيط المحورى (sbeath of the axial filament) فى القطعة المتوسطة للحيوان المنوى .

منشأ (أصل أو مصدر) الميتوكندريا : origin of mitochondria

لا يوجد حتى الآن اتفاق عام على نشأة الميتوكندريا أو مصدرها ، غير أنه توجد ثلاثة مقترحات فى هذا الشأن :

أول - **انقسام الميتكوندريا السابق وجودها :**
Division of pre-existing mitochondria

يرى غالبية الباحثين ان الميتوكندريا تنشأ من ميتوكندريا موجودة فى الخلية نتيجة لعمليات مختلفة من التفلق والتكاثر . ويعضد هذا الرأى سلوك الميتوكندريا أثناء انقسام الخلايا ونموها .

الثانى - **التخليق من جديد :** De Novo Synthesis

ظهر هذا الرأى نتيجة لعمليات الطرد المركزى التى اجريت على بويضات قنفذ البحر حيث لوحظ أن الأجزاء التى تتجمع عند مركز الطرد لا تحتوى على ميتوكندريا - حسب ما يتضح نتيجة استخدام الصبغات المميزة لها - وأن هذه الأجزاء يتكون بها بعد فترة من مراحل النمو مجموعة كاملة من الميتوكندريا . وقد فسر ذلك على أن الميتوكندريا نشأت من جديد . ولكن يمكن الرد على ذلك بأنه لا يمكن استبعاد وجود ميتوكندريا صغيرة جدا (لا ترى بالمجهر العادى) فى الجزء الذى تم فحصه .

وتقدم الكيميـاء الحيويـة دليلا آخـر هـو أن متوسط عمر الميتوكندريا يتراوح بين ٥ - ١٠٠ يوما ، مما يبين بوضوح أن تكوين الميتوكندريا عملية مستمرة فى الخلية .

ويعتمد الرأى الثالث على الفحص بواسطة الميكروسكوب الالكترونى حيث شوهد اتصال اغشية الميتوكندريا بغشاء الخلية أو أغشية الشبكة الاندوبلازمية والغشاء النووى . وقد أدى هذا إلى الاعتقاد بأن الميتوكندريا قد تتكون من هذه الأغشية .

التغيرات المرضية (Pathological changes) :

تحدث فى الميتوكندريا تغيرات مرضية يمكن توضيحها بالأمثلة التالية :

١ - فى الخلايا السرطانية ، تحدث فى الميتوكندريا تغيرات دهنية ، فهى عادة تنتفخ وتفقد معظم اعرافها (internal ridges) ثم تتحول إلى قطيرة دهنية .
٢ - كذلك يوجد ما يشير الى ان الميتوكندريا فى الخلايا السرطانية تستجيب سريعا للاشعاعات فوق البنفسجية .

٣ - اثناء الإصابة بالاسقربوط (scurvy) تتجمع الميتوكندريا الخيطية حول النواة على هيئة كتلة كثيفة ، وذلك بدلا من توزيعها المتجانس فى السيتوبلازم . ثم تتهدم هذه الخيوط الى حبيبات صغيرة تصبح بعد ذلك حوصلية الشكل ، وتختفى بعد ذلك تدريجيا مع تقدم الاصابة .

(شكل ٤١)
تحول الميتوكندريا إلى قطرات دهنية فى بعض الحالات الفسيولوجية والمرضية

٤ - تؤثر المبيدات الحشرية على الميتوكندريا فى الخلايا العصبية تأثيرات ضارة (الاشكال ٤٢ - ٤٣) ، فتتجمع الميتوكندريا مع بعضها مكونة عددا قليلا من الأجسام كبيرة الحجم . وتتحرك تلك الأجسام تدريجيا نحو حافة الخلية حيث يختفى معظمها فى النهاية .

٥ - فى حالة التسمم بالمورفين تتكسر الميتوكندريا العضرية فى الخلايا العصبية إلى حبيبات صغيرة ، ونقل قابليتها للصباغة بشكل ملحوظ (شكل ٤٤) .

٦ - كذلك وجد أن التسمم بواسطة السلفونال يؤدى إلى أن تصبح الميتوكندريا فى الخلايا الكبدية حبيبية الشكل ، ثم تهاجر بعد ذلك إلى حافة الخلية .

٧ - فى حالة التسمم بالفسفور ، تتكسر الميتوكندريا الخيطية فى خلايا البنكرياس إلى حبيبات صغيرة تندمج مع بعضها مكونة قطرات دهنية .

٨ - تتأثر حركة الميتوكندريا بشكل واضح بالمواد المخدرة فتقل حركتها .

٩ - أثناء تصويم الحيوان ، أو فى مراحل الشيخوخة تتحول الميتوكندريا الخيطية فى الخلايا الكبدية الى حبيبات صغيرة تختلفى بعد ذلك تدريجيا من الخلية . وفى الخلايا الكبدية المسنة تتحول بقايا الميتوكندريا إلى جسيمات حمراء تتجمع عند أقطاب الخلايا المتجهة نحو الجيوب الكبدية .

١٠- وبالمثل تتأثر الميتوكندريا بمعاملة الخلايا بأنواع أخرى من العقاقير الطبية مثل عقاقير التخدير .