## المايتوكوندريا Mitochondria

المايتوكوندريا عبارة عن عضيات حبيبية او خيطية موجودة بصورة عامة في الخلايا حقيقية النواة فهي موجودة في السايتوبلازم في الخلايا في الحيوانات الابتدائية والراقية والنباتات ويمكن الاستدلال على وجودها ورؤيتها في الخلية الحية باستعمال الاصباغ الحيوية كصبغة جانس الاخضر Janus Green والتي تصبغ المايتوكوندريا باللون الاخضر المزرق قليلاً وذلك بسبب وجود انزيم Cytochrome–Oxidase والذي يجعل الصبغة بحالتها المؤكسدة ((الملونة)) .

تعد المايتوكوندريا ثاني اكبر جزء في الخلية بعد النواة حيث يتراوح قطرها بين(٠,٥–١) مايكرومتر وطولها بين (٢–٣) مايكرومتر . وان حجمها وشكلها يختلف من خلية الى اخرى حيث يعتمد على الحالة الايضية للخلية ويمكن ان تندمج نهاية كل واحدة مع الاخرى مكونة بذلك تراكيب اشبه ما تكون بحبة الشعير وان مصطلح المايتوكوندريا (Mito=thread ومعناها خيط) و(Chondrion=Granule ومعناها حبيبة. وقد استخدم مصطلح المايتوكوندريا لاول مرة من قبل العالم بيندا Benda عام ١٨٩٨ تتوزع المايتوكوندريا في اغلب الخلايا بصورة متجانسة في السايتوبلازم وفي قسم من الخلايا تتخذ المايتوكوندريا موقعاً خاصاً مثلاً في خلايا انابيب الكلية توجد المايتوكوندريا في لفات المناطق القاعدية بالقرب من غشاء البلازما بينما توجد المايتوكوندريا في قسم اخر متجمعة حول النواة اما خلال الانقسام الخيطي الاعتيادي Mitosis فانها متساوية العدد تقريباً في كلا الخليتين الشقيقتين ويجب الاخذ بنظر الاعتبار موقعها من ناحية الوظيفة وقد وجدت علاقة بين الموقع والوظيفة كأن يكون نقل المواد من منطقة الى اخرى بواسطة توليد الطاقة لهذه العملية من قبل الميتوكوندريا. وقد لوحظ في بعض الخلايا أن للمايتوكوندريا القابلية على التحرك بحرية ناقلة معها الادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP عند الحاجة.

## التركيب الدقيق للمايتوكوندريا Ultrastructure of Mitochondria

تظهر المايتوكوندريا تحت المجهر الالكتروني تتكون من غشاء خاري املس سمكه ٦٠ انكستروم وتأتي بعده منطقة اقل كثافة وهي تفصل ما بين الغشاء الداخلي والخارجي 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 عى التفافات داخلية تسمى الاعراف Cristae (مفرد عرف Crista) وله سمك مقارب في ذلك سمك الغشاء الخارجي. ويسمى التجويف الواقع الى داخل الاعراف بالردهة الداخلية inner Chamber يكون مليئاً بمادة كثيفة تتألف من حبيبات كثيفة وتسمى الحشوة Matrix ان اغشية المايتوكوندريا هي من نوع المتناظر وتمتلك طبقة دهنية ذات نمط كروي شأنها في ذلك شأن اغشية كولجي واغشية الشبكة الاندوبلازمية ويبلغ سمكها بين ٢٠–٢٣ انكستروم اما الطبقة البروتينية الخارجية فيبلغ سمكها ١٥–١٧ انكستروم يتميز الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا بوجود حبيبات صغيرة ذات رأس يتراوح قطره بين ٨٠–١٠٠ انكستروم محمولاً على

جميع الحقوق محفوظة / ا. م. د ابراهيم هادي محمد كلية العلوم جامعة ديالى

سويق طوله ٥٠ انكستروم وقطره ٣٠-٤٠ انكستروم اما القاعدة فهي مكعبة وقياسها ١١٠×٤٠ انكستروم ويعتقد ان غشاء هذه الحبيبات هو موقع حدوث الفسفرة التأكسدية Oxidative Phosphorylation وكذلك نظام نقل الالكترونات Electron transport system.

الاعراف Cristae

ان غشاء المايتوكوندريا الخارجي تركيب اكثر ثباتاً من الاغشية الداخلية والعرضية ولقد لوحظت التحورات في تراكيب المايتوكوندريا وبصورة رئيسية في الاعراف وعلى الرغم من وجود بعض التغيرات في المادة البينية والحبيبات داخل المايتوكوندريا والغشاء الخارجي ويختلف عدد الاعراف لكل مايتوكوندريا اختلافاً كبيراً ويعتمد ذلك على نوع النسيج التي توجد فيه فمثلاً تكون المايتوكوندريا لخلايا عضلات الطيران للحشرة وللعضلة القلبية لحيوان لبون ذات عدد عال جداً من الاعراف لان الايض التأكسدي يكون عالي في هذه العضلات بينما يكون عددها قليلاً في المايتوكوندريا لخلايا اخرى كالخلايا الهدبية وخلايا الرئتين وخلايا كبد الجرذ. ويتباين ترتيب الاعراف داخل المايتوكوندريا وهي كما يلي :

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

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

٣- اعراف انبوبية الترتيب كما هو في خلايا الغدة الادرينالية وانابيب مالبيجي في الحشرات.

٤- وفي قسم من السبيرماتيدات فان الاعراف تترتب على شكل اقراص متحدة المراكز داخل الحشوة Matrix ومهما اختلفت الاعراف في ترتيبها فانها تؤدي الى زيادة المساحة السطحية للغشاء الداخلي وهناك نوعان رئيسيان من الاعراف وهما .

١- الاعراف الحاجزية (Septate Cristae Complete or in Complete)

ويكون 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 مفردة ومستقيمة

٢- الاعراف النبيبية Tubular Cristae

حيث تظهر على شكل تقسيمات زغبية او خملية Villi–Like للغشاء الداخلي وقد وجدت في مايتوكوندريا الابتدائيات وخلايا الكبد والعصب .

المحتوى الكيميائي Chemical Composition

ان مكونات غشاء المايتوكوندريا مماثل لمكونات غشاء البلازما أي لبيدات مفسفرة وبروتينات وتوجد البروتينات على السطحين الخارجي والداخلي للمايتوكوندريا وهناك طبقة ثنائية الجزيئة من اللبيد بينها وعند تحليل محتوى الوزن الجاف للمايتوكوندريا تبين انها تحتوي على المواد التالية ٢٥-٧٠% بروتينات و ٥٢-٣٠% لبيدات ومن

جميع الحقوق محفوظة / ا. م. د ابراهيم هادي محمد كلية العلوم جامعة ديالى

اللبيدات هنالك ٩٠% على شكل لبيدات مفسفرة و ١٠% كولسترول وكاروتينويد وفيتامين E وبعض العناصر غير العضوية كالحديد والكبريت والنحاس توجد هناك انزيمات التنفس التي تساعد في عملية التنفس مثل Coenzyme 1 ،Reductase , Cytochrome Oxidase Transaminae 1, حامض دهني و Oxdiase وغيرها .

الحامض النووي الرايبوزي منقوص الاوكسجين المايتوكوندري (Mitochondrial DNA (mt DNA تحتوي المايتوكوندريا على جزيئة DNA واحدة او اكثر وتكون دائرية الشكل ملتفة بصورة شديدة ويصل طولها ما يقارب ٥ مايكروميتر وهي تماثل الـ DNA البكتيري الذي يظهر الشكل الدائري ايضاً يتصرف الـ DNA mt كالكروموسوم حيث يتضاعف بالطريقة الاعتيادية أي طريقة شبه محافظ Semi-Conservative مكوناً دوائر متعددة ونتيجة وجود الـ DNA فان المايتوكوندريا لها القابلية على التكاثر الذاتي وهناك اوجه عدة يختلف فيها DNA mt عن DNA النووي وهي :

١- ان DNA mt يحوي على G-C كوانين سايتوسين بكمية كبيرة مقارنة بـ DNA النووي ويكون ذا كثافة اعلى.

٢- تكون درجة حرارة تغير الصفات Denaturation للـ mtDNA اعلى من تلك لـ DNA النووي.

٣- يكون شكل DNA mt دائرياً مثل DNA البكتريا بينما يكون DNA النواة ممتداً.

٤- معدل استعادة الطبيعة Renaturation لـ DNA mt تكون بسرعة اكبر من DNAالنووي.

٥- يستنتخ DNA mt في فترة بعد البناء G2 لدورة الخلية وليس في فترة البناء S كما في DNA النووي وقد وجد ان الوزن الجزيئي للحامض الرايبوزي منقوص الاوكسجين للمايتوكوندريا DNA mt يساوي تقريباً ١٥٠٠٠ وهي تعادل ما يقارب من ١٠×١ من ازواج القواعد التي تكون كافية لبناء البروتين الذي يحوي على ما يقرب من ٥٠٠٠ حامض اميني Amino Acid او ٣٠ متعدد الببتيد وبمعدل وزن جزيئي قدره ٢٠،٠٠٠.

الحامض النووي الرايبوزي المايتوكوندري (Mitochondrial RNA (mt RNA يعمل الـ DNA mt على التشفير لانواع من الـ RNA المايتوكوندري منها الحامض النووي الرايبوسومي rRNA (S16،S21) ولحوالي ١٩ من الناقل RNA (tRNA) وللرسول RNA (mRNA) لصنع حوالي ٢٠ بروتيناً تكون رايبوسومات المايتوكندريا على الاغلب اصغر من الرايبوسومات السايتوبلازمية (S55 ضد S80) اما البروتينات لهذه الرايبوسومات فأنها تأتي من تجويف المايتوكوندريا. تتمكن المايتوكوندريا من بناء حوالي ١٠ انواع من البروتينات ذات صفة كارهة للماء Hydrophobic بمعنى اخر تكون لبيدات بروتينية Proteolipids ويمكن ايقاف بناء البروتين بواسطة مثبط بناء البروتين الكلورامفينيكول Chloramphenicol كما في البكتريا المنشأ Origin

لقد افترضت عدة مناشئ للمايتوكوندريا وفيما يلي بعض من تلك المناشئ:

جميع الحقوق محفوظة / ا. م. د ابراهيم هادي محمد كلية العلوم جامعة ديالى

١- على الرغم من التشابه الذي تظهره المايتوكوندريا للبلاستيدات الا انه لا يوجد أي دليل على ان المايتوكوندريا ناتجة من البلاستيدات او انها تولد البلاستيدات وقد دعم هذا القول من خلال دراسة الرايبوسومات في العضيات الخلوية حيث تبين من خلال ذلك ان معامل ترسيب رايبوسومات البلاستيدة الخضراء S٧٠ في حين ان معامل ترسيب رايبوسومات المايتوكوندريا تختلف باختلاف الكائنات الحية حيث يتراوح بين S٦٠-٥٠
٢- اقترح Robertson مخططه الذي يمكن ان تنشأ منه المايتوكوندريا وقد وضع ثلاثة احتمالات لنشوء المايتوكوندريا فهي تنشأ من:
أ- غشاء البلازما. ب- الشبكة الاندوبلازمية. ج- الغلاف النووي. كما هو مبين في الشكلين ادناه :

## المنشأ التطوري Evolutionary origin

ان المنشأ التطوري للمايتوكوندريا كان ذو اهمية متزايدة في الفترات الاخيرة وذلك بسبب حقيقة اشتراك المايتوكوندريا في كثير من خصاصها الشكلية وكيميائيتها الحياتية مع البكتريا والبلاستيدات النباتية في حين ان الخصائص المشتركة مع الخلايا حقيقية النواة قليلة وعلى اساس هذه الاختلافات فقد قدر ان اسلاف الكائنات الحرة المعيشة الشبيهة بالبكتريا كونت علاقة تعايشية مع خلية سلفية لاهوائية ذات نواة حقيقية التي كانت منذ ذلك الحين تكشف طريقها من تحلل السكر من المادة البينية لسايتوبلازمها واخيراً قد اعطت الكائنات البدائية النواة الهوائية المستقلة من الخلية مايتوكوندريتها عن طريق فقدان بعض خصائصها وقد احتفظت بغشائها الذي اصبح الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا اما الغشاء الخارجي فقد اشتق من خلية ذات نوى حقيقية خلال عملية الالتهام الخلوي والشرب الخلوي وهذا يفسر الفروق الواضحة بين غشائي المايتوكوندريا الداخلي والخارجي .

## اوجه التشابه بين بدائية النواة والمايتوكوندريا واختلافها عن حقيقية النواة

## الصفة حقيقية النواة بدائية النواة المايتوكوندريا

١- الغلاف النووي موجود غير موجود غير موجود
٢- الكروموسومات او الصبغيات موجود، يرتبط الـDNA بالهستون غير موجود، لايرتبط الـ DNA بالهستون غير موجود، لايرتبط الـ DNA بالهستون
٣-النقل الالكتروني والفسفرة التأكسدية تقع فوق اغشية المايتوكوندريا
٤-بناء البروتين لاتثبط العملية باستخدام الكلورمفينيكول وتجري العملية في الفسفرة التأكسدية تثبط باستخدام الكلورمفينيكول وتعتمد على الفسفرة التأكدسية تثبط باستخدام الكلورمفينيكول تعتمد على الفسفرة التأكسدية

جميع الحقوق محفوظة / ا. م. د ابراهيم هادي محمد كلية العلوم جامعة ديالى

٥- الرايبوسومات S60 S70 S80

وظائف المايتوكوندريا Function of mitochondria

تؤدي المايتوكوندريا جملة من الوظائف الرئيسية الآتية :

١- تمثل المايتوكوندريا المركز التنفسي في الخلية كونها غنية بالانزيمات الضرورية لعملية التنفس الخلوي Cell respiration .

٢- يتم فيها ايض الدهون من خلال الاكسدة بيتا للاحماض الدهنية وفي الانسجة الحيوانية فقط.

٣- بناء جزيئات الادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP حيث تقوم المايتوكوندريا بتجهيز الخلية بالطاقة الضرورية وتتحرر هذه الطاقة من خلال اكسدة المواد العضوية (الكلوكوز).

٤- بناء اجسام كيتون واستخداماتها .

٥- بناء عدد محدد من البروتينات .

٦- تجري فيها بعض تفاعلات دورة اليوريا .

ولغرض تحلل المواد العضوية (الكلوكوز) وتحرر الطاقة هنالك سلسلة من التفاعلات هي:

اولاً: الانشطار السكري Glycolysis .

ثانياً: دورة كريبس (دورة حامض الستريك) Kerbs cycle.

جهاز كولجي Golgi Apparatus

ويسمى في بعض الاحيان جسم كولجي وصفه لاول مرة العالم كولجي في الخلايا العصبية عام ١٨٩٨م بعد معاملة الخلايا باصباغ تحتوي على معادن ثقيلة كالفضة وفي العام ١٩٥٠م اثبت وجوده في الخلايا الحيوانية ذات الطبيعة الافرازية من قبل العالم بالاد Palade باستخدام المجهر الالكتروني وهو عبارة عن احواض مسطحة او اكياس ذات اغلفة ملساء مرتبة بحيث يأخذ سطحها الاعلى بالضيق. ويحيط بهذا النظام حويصلات vesicles و يتراوح قطرها ٥٠ نانومتر او اكثر وهي عبارة عن فجوات افرازية secretory vacuoles وتحتوي على البروتين مطروح كان قد تم بناؤه في الشبكة الاندوبلازمية الخشنة RER و انتقل الى جهاز كولجي والفجوات الافرازية و يمكن الكشف عن جهاز كولجي وذلك باعطائه تفاعلا موجبا مع كاشف PAS الذي يدلل عن بناء السكريات البروتينية glycoproteins في جهاز كولجي والتي تهاجر عن طريق الاوعية باتجاه الاجسام الحالة لتكوين غلاف الاجسام الحالة وغلاف الخلية الخارجي

الشكل العام General morphology

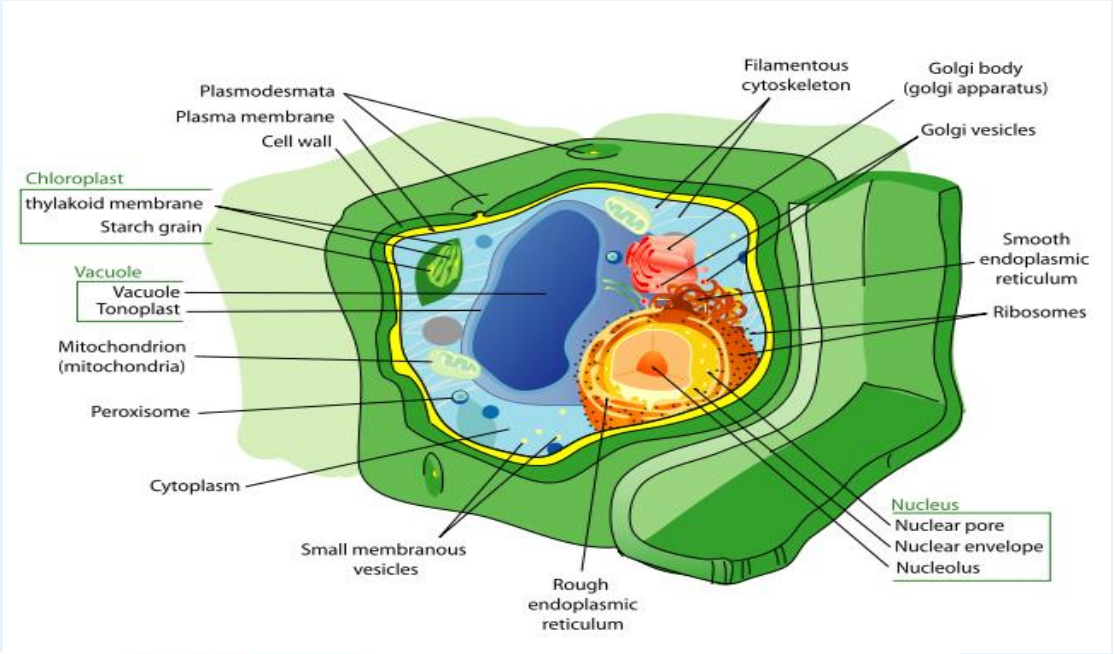
لقد تبين من خلال دراسة جهاز كولجي في الخلايا كاملة النضوج تحت المجهر الالكتروني انه يحتوي على تراكيب متعددة ومنها ثلاث تراكيب رئيسية و هي :

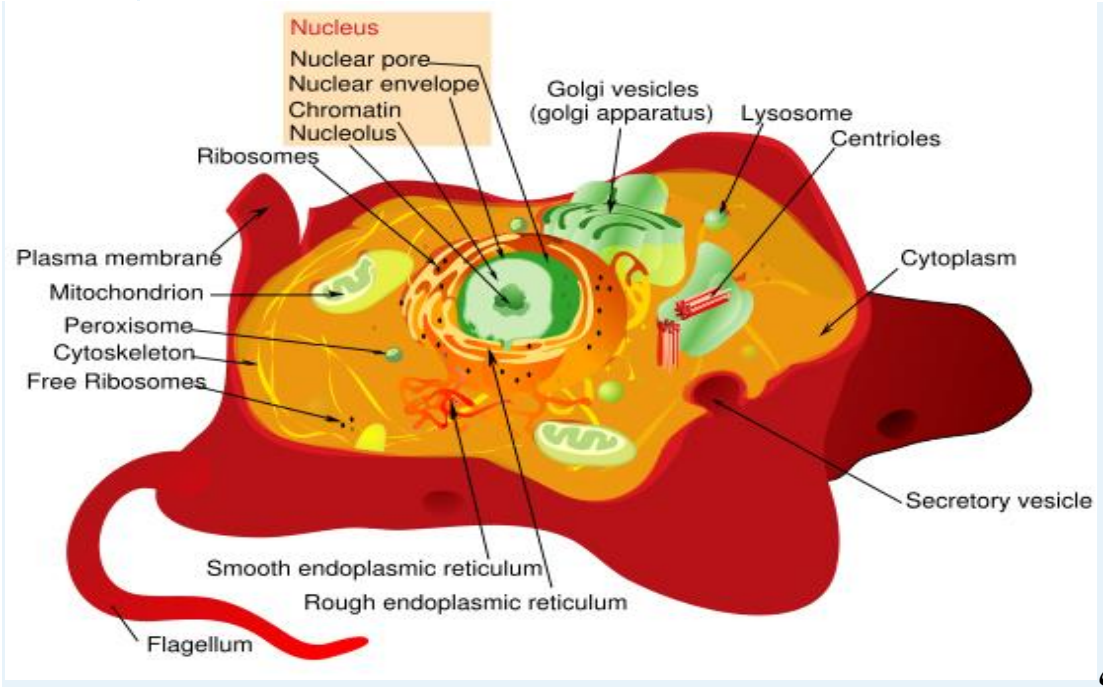
جميع الحقوق محفوظة / ا. م. د ابراهيم هادي محمد كلية العلوم جامعة ديالى

١- اكياس أو احواض مسطحة flattened sacs or cisterna

٢- الحويصلات vesicles

٣- الفجوات vacuoles




**جهاز كولجي**

**والاكياس المسطحة تشبه في مظهرها الشبكة الاندوبلازمية الناعمة SER حيث تصطف هذه الاكياس على شكل اكوام stacks من اغشية ثنائية الجدران متوازية سمكها يقرب من ٦٠ انكستروم و تفصل كل مجموعة عن الاخرى بمساحة تتراوح بين ٥٠-٢٠٠ انكستروم اما غشاءا الكيس فيفصلهما تجويف فراغي يصل ما بين ٦٠-٩٠ انكستروم. اما بالنسبة الى الحويصلات vesicles فتتواجد بالقرب من الاكياس المسطحة ويتراوح حجمها بين ٤٠٠-٨٠٠ انكستروم و تتجمع على شكل عناقيد بالقرب من الاكياس المسطحة وعلى طول السطوح**

جميع الحقوق محفوظة / ا. م. د ابراهيم هادي محمد كلية العلوم جامعة ديالى

الخارجية لها . ويتراوح عدد الحويصلات ما بين ٢-٢٠ حويصلة وان مصدر هذه الحويصلات ناتج عن الاكياس المسطحة حيث تتبرعم هذه الاكياس ثم تنفصل البراعم حيث تشكل مايعرف بالحويصلة اما الفجوات vacuoles فهي ايضا ناتجة عن الاكياس المسطحة حيث يحصل لها التمدد ثم تنفصل عنها الفجوات

الموقع Location

تسمى اجسام كولجي في الخلايا النباتية وفي اللافقريات بالدكتيوسومات Dictyosomes او تسمى كولجي دكتيوسوم Golgi Dictyosomes وتحتوي الدكتيوسومات على عدد من الحويصلات يتراوح عددها ما بين ٢-٢٠ حويصلة و قد يصل قطر الاكياس المسطحة في الخلايا النباتية ما بين ٣٠٠-٥٠٠ انكستروم كما تكون الدكتيوسومات متباعدة جدا بحيث تنتشر بصورة منتظمة في السايتوبلازم داخل الخلية او تكون متخذة تجمعاً معقداً كما في خلايا اللافقريات .

الوظيفة Function

يقوم جهاز كولجي بوظائف متعددة اهمها :

١- يستقبل البروتين المصنوع من الشبكة الاندوبلازمية ويعمل على تركيزه ورصه بشكل حبيبات متجمعة حيث ينفل ويتجمع داخل الاكياس المسطحة والفجوات الكبيرة لجهاز كولجي و تكون دقائق الخزن محاطة بغشاء ناتج من الجهاز ثم تنطلق بعدها هذه الدقائق من خلال فتحة في غشاء البلازما الى خارج الخلية بالنظام الاتي : الشبكة الاندوبلازمية الخشنة الشبكة الاندوبلازمية الناعمة جهاز كولجي الفجوات خارج محيط الخلية.

٢- يلعب دورا في تكوين البروتينات السكرية glycoproteins من اتحاد البروتينات مع السكريات المعقدة وكذلك يتم تكوين mucopolysaccharides في جهاز كولجي كما يتم ايضا بناء الكربوهيدرات كالكلايكوجين الذي يبدأ بناءه في جهاز كولجي من المادة الاولية يوردين ثنائي الفوسفات الكلوكوز (UDPG)

٣- يقوم جهاز كولجي ببناء خلايا بيتا لجزر لانكرهانز التي تبني وتفرز هورمون الانسولين فيالحيوانات .

٤- يعمل على تجميع البروتين المطلوب لتكوين غلاف الاجسام الحالة وغلاف الخلية الخارجي

٥- يعمل على بناء الدهون المفسفرة phospholipids

٦- في النباتات تكون وظيفة معقد كولجي في الاشتراك في عملية تكوين الصفيحة الوسطى للخلية اثناء عملية انقسام الخلايا .

٧- ومن الوظائف الاخرى لجهاز كولجي: اثبتت الدراسات الحديثة ان انزيم كيموتربسين وهو انزيم هاضم Digestive enzyme الذي يحلل البروتينات في الامعاء الدقيقة والذي يبنى اصلاً من انزيم غير فعال في البنكرياس هو انزيم كيموتربسينوجين (ويسمى ايضا زايموجين Zymogen) يغادر الكيموتربسينوجين الشبكة الاندوبلازمية ER في البنكرياس محمولا بواسطة الحويصلات vesicles الى جهاز كولجي ويمكن مشاهدة حبيبات الكيموتربسينوجين عن طريق المجهر الالكتروني على هيئة اجسام كثيفة نظرا لاحتوائها على كثافة عالية

جميع الحقوق محفوظة / ا. م. د ابراهيم هادي محمد كلية العلوم جامعة ديالى

من البروتينات تتجمع حبيبات الكيموتربسينوجين في نهايات طيات غدة البنكرياس فعند تحفيز الخلية عن طريق اشارة هرمونية او نبضة عصبية فان حبيبات الكيموتربسينوجين يتم افرازها في القناة المؤدية الى الاثني عشري ويتألف الكيموتربسينوجين من سلسلة واحدة من متعدد الببتيد مكونة من ٢٤٥ حامض اميني يعاني الكيموتربسينوجين انشطاراً في اصرة الببتيد الواقعة بين الحامض الاميني ١٥ و هو الارجنين (Arg) و الحامض الاميني ١٦ و هو ايزوليوسين (Ile) عن طريق انزيم تربسين فيتولد انزيم كيموتريسين الفعال ان الملامح العامة لهذه العملية هي تحويل البروتين من الشكل غير الفعال الى الشكل الفعال.

٨- كما يلعب معقد كولجي دوراً مهماً في تكشف الجسيم الطرفي في النطف، حيث خلال مرحلة نضوج النطفة (الحيمن) sperm يبقى جهاز كولجي بكامله عند استمرار النمو لكي ينتج في الاخير الجسيم الطرفي (Acrosome) والذي يكون محاطاً بغشاء مفرد. ويحتوي الجسيم الطرفي على انزيمات محللة من اهمها انزيم Hyaloronidase الذي يعمل على تحطيم السطوح الحامية لخلية البيضة .

منشأ جهاز كولجي Origin of Golgi Apparatus

هناك العديد من الاحتمالات عن منشأ جهاز كولجي وهي: –

١- ان التشابه الموجود بين غشاء معقد كولجي واغشية الشبكة الاندوبلازمية الناعمة ادى الى الاعتقاد ان منشأ جهاز كولجي ينتج من مكونات الشبكة الاندوبلازمية وان العلاقة بين جهاز كولجي و الشبكة الاندوبلازمية وجدت في كل من الخلايا النباتية والحيوانية على حد سواء .

٢- ان لموقع جهاز كولجي المجاور للنواة وارتباطه بظهور جيوب صغيرة و تحوصلات للغشاء النووي وانتقالها منه قد ادى الى الاعتقاد الى احتمالية مشاركة الغشاء النووي في تكوين اغشية جهاز كولجي

٣- هناك اعتقاد يشير الى ان معقد كولجي نتج عن تكسير واعادة بناء الاكياس المسطحة مرة اخرى

٤- وهنالك اعتقاد ان جهاز كولجي قد ينشأ من تضاعف او انقسام معقد كولجي سابق له في التكوين

٥- يعتقد ان جهاز كولجي يتكون من تراكيب او حويصلات غشائية في السايتوبلازم في منطقة خالية من الرايبوسومات تعرف بمنطقة الاقصاء Zone of exclusions.

جميع الحقوق محفوظة / ا. م. د ابراهيم هادي محمد كلية العلوم جامعة ديالى