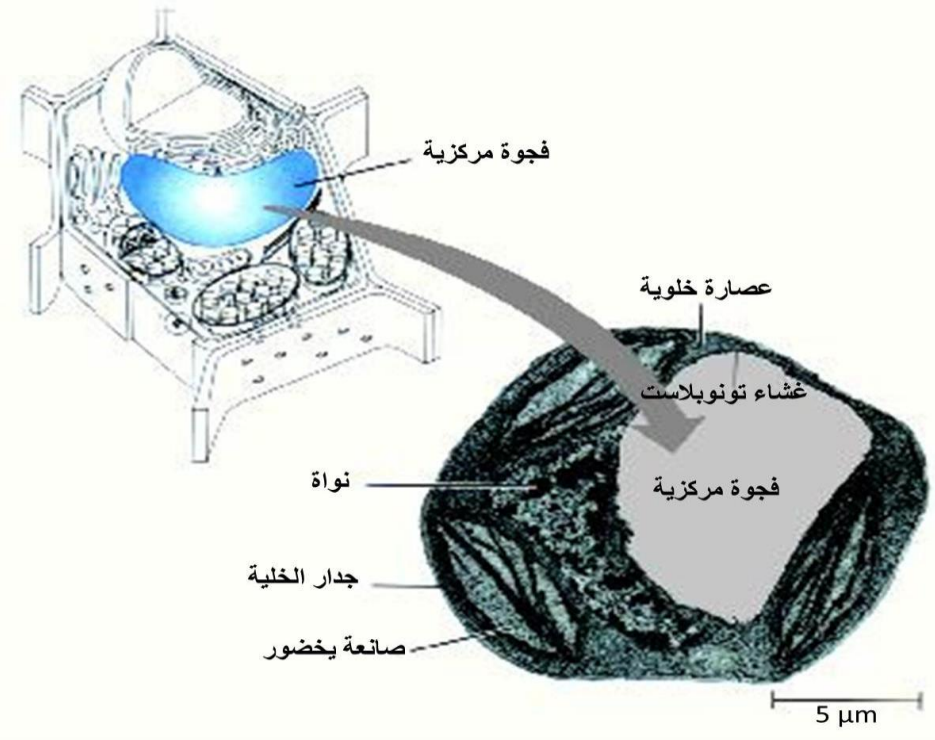
التركيب العام للخلية الحية (3)

General structure of the Cell(3)

7- الفجوات Vacuoles (حيز الصيانة المتنوعة):

تشكل الفجوات جزءا متمما من المنظومة الغشائية الداخلية في الخلية، فقد تحتوي خلية النبات أو الحيوان أو الفطر على فجوة واحدة أو أكثر. و بشكل عام فان الخلية النباتية تحتوي على فجوة واحدة مركزية كبيرة محاطة بغشاء يدعى الوتير (التونوبلاست Tonoplast)(الشكل 31)،و تنشأ الفجوة المركزية من التحام فجوات أصغر تشتق من الشبكة السيتوبلاسمية الداخلية و جهاز غولجي. في حين أن الخلية الحيوانية تحتوي على عدة فجوات صغيرة تختلف تبعا للنوع.



الشكل (31):فجوة خلية نباتية. عادة ما تشكل الفجوة المركزية أكبر مقصورة في الخلية النباتية و عموما تنحصر بقية السيتوبلاسما في منطقة ضيقة بين الوتير و الغشاء البلاسمي.

تقوم الفجوات بوظائف مختلفة في الخلية أهمها:

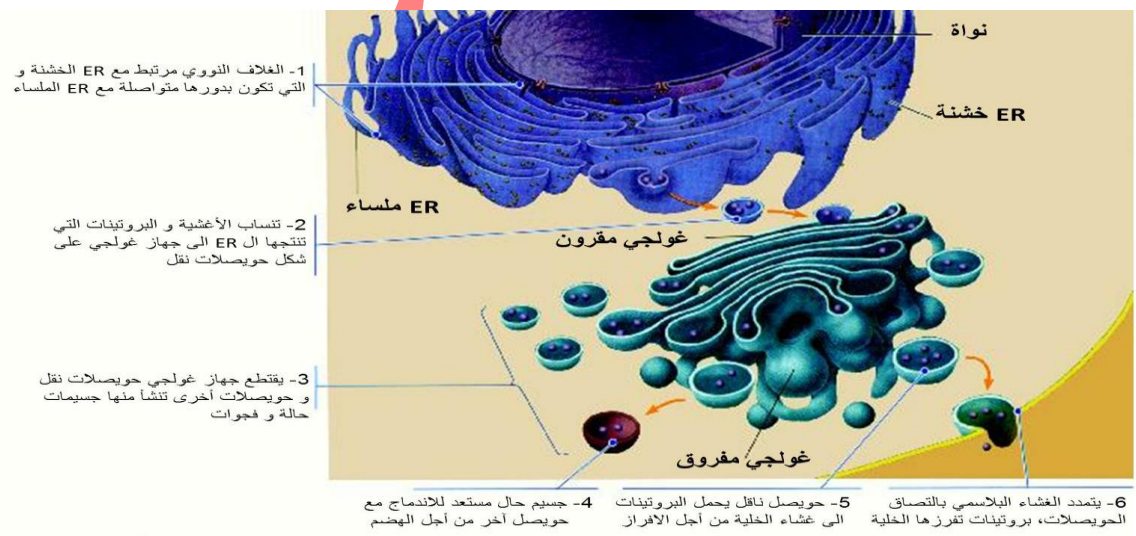
1- تنجز الفجوات بعض عمليات الحلمهة فهي بذلك تشبه الجسيمات الحالة، حيث تتشكل بعض الفجوات الطعامية التي تتشكل بالبلعمة الخلوية.

2- تقوم الفجوات عند العديد من أوليات الماء العذب بضخ الفائض من الماء إلى خارج الخلية، فتحفظ بذلك تركيزا مناسبا للأملاح و الجزيئات الأخرى في الخلية.

3- تقوم الفجوات باحتجاز احتياطيات من مركبات عضوية مهمة، مثل البروتينات المختزنة في فجوات بعض الخلايا، و كذلك تشكل المستودع الرئيس لبعض الشوارد المعدنية مثل البوتاسيوم و الكلور.

مراجعة المنظومة الغشائية الداخلية Endomembrane System :

يوضح الشكل (32) المنظومة الغشائية الداخلية، مظهرا كيفية انسياب البروتينات و الليبيدات الغشائية عبر مختلف العضيات في الخلية. فعندما ينتقل الغشاء من الشبكة الداخلية إلى جهاز غولجي ومن ثم إلى الأماكن الأخرى، تتحور وظائفه الاستقلابية و تراكيبه الجزيئية و كذلك وظائف تراكيب محتوياته. إن المنظومة الغشائية الداخلية تمثل لاعبا معقدا و نشطا في تعضي مقصورات الخلية.



الشكل (32): مراجعة للعلاقات بين عضيات المنظومة الغشائية الداخلية. تبين السهام مسارات هجرة الأغشية و المواد التي تكتنفها هذه الأغشية.

8– المصورات الحيوية أو المتقدرات (الجسيمات الكوندريةMitochondria):

تقوم المتعضيات الحية بتحويل الطاقة التي تكتسبها من محيطها من شكل لآخر. و تعتبر المتقدرات أهم العضيات المسئولة عن تحويل الطاقة إلى أشكال أخرى في الخلايا حقيقية النوى ليتم استخدامها من قبل الخلية في أعمالها.

توجد المتقدرات في جميع الخلايا الحية حقيقيات النوى تقريبا، بما فيها خلايا النبات و الحيوان و الفطور و الأوليات. و تكون المتقدرة كبيرة و مفردة في بعض الخلايا، و لكن أغلب الخلايا تحوي على المئات بل الآلاف من المتقدرات، و لهذا العدد علاقة مباشرة بمستوى نشاط الخلية الاستقلابي. فمثلا ، تمتلك الخلايا المتحركة عددا من المتقدرات يفوق بالنسبة لحجمها ما تمتلكه الخلايا الأقل نشاطا. يتراوح طول المتقدرات بين 1–10 ميكرومترات. لقد اكتشفت طريقة التصوير السينمائي المجهري المتباطئ للخلايا الحية، متقدرات تتجول مغيرة أشكالها، و متقسمة مثنى مثنى.

يحيط بالمتقدرة غشاءان، يتكون كل منهما من طبقة مضاعفة من الفسفوليبيدات ذات مجموعة فريدة من البروتينات المنغمسة (الشكل 33). و يتميز الغشاء الخارجي بأنه أملس و مستمر، أما الداخلي فهو متعرج و يرسل امتدادات باتجاه الداخل على شكل طيات تدعى الأعراف. و يقسم الغشاء الداخلي المتقدرة إلى مقصورتين داخليتين هما:

الأولى: هي الحيز الغشائي البيني المتمثل في المنطقة الضيقة بين الغشاء الداخلي و الخارجي.

الثانية: هي لحمة المتقدرة الذي يحيط به الغشاء الداخلي. و تحتوي هذه اللحمة على أنزيمات مختلفة و ريبوزومات و دنا DNA متقدري. و تحفز هذه الأنزيمات بعض خطوات التنفس الخلوي، كما تبنى البروتينات الأخرى العاملة في التنفس داخل الغشاء الداخلي، بما فيها الأنزيم الصانع للATP .

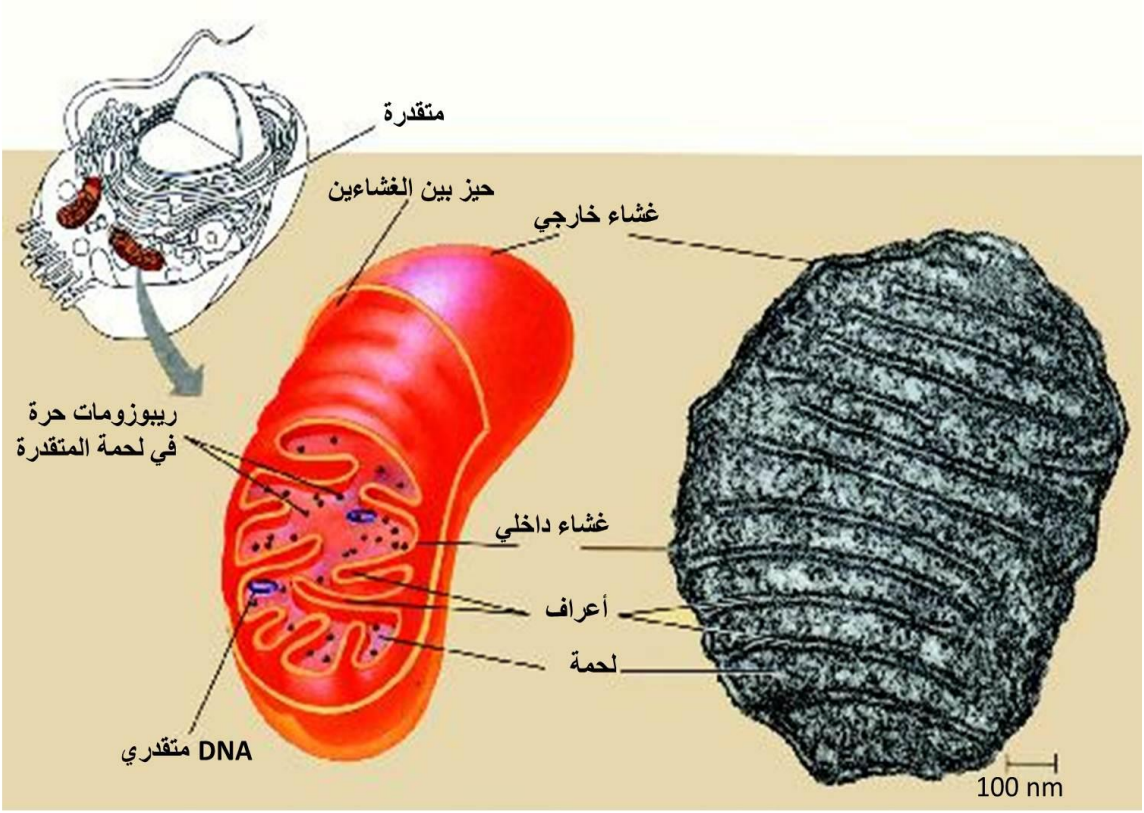
و نشير هنا الى أن الأعراف تتيح لغشاء المتقدرة الداخلي بفضل سطوحها ذات الطيات الواسعة مساحة واسعة لعمل هذه البروتينات، مما يحسن انتاجية التنفس الخلوي.

وظائف المصورات الحيوية (المتقدرات)

1- تعتبر المتقدرات مواضع للتنفس الخلوي.

2- تقوم المتقدرات بإنتاج (ATP) و ذلك باستخلاص الطاقة من السكاكر و الشحوم و غيرها من المركبات بمساعدة الاكسجين.

3- تبرمج المتقدرات اصطناع البروتينات التي تصنعها الجسيمات الريبية الخاصة بها و ذلك من خلال وجود كمية قليلة من الدنا DNA في داخل هذه العضيات.



الشكل (33):المتقدرة (موضع التنفس الخلوي). يتضح الغشاءان الداخلي و الخارجي للمتقدرة في الرسم و الصورة المجهرية (المأخوذة بالمجهر الالكتروني النافذ). إن الأعراف هي طيات من الغشاء الداخلي. و يبين المقطع مقصورتين محاطتين بالأغشية و هما الحيز بين الغشائي و اللحمة المتقدرية. و ترى في اللحمة ريبوزومات حرة، و إلى جانبها نسخة أو أكثر من الجينوم المتقدري. و تكون جزيئات ال DNA في العادة دائرية الشكل و متصلة بغشاء المتقدرة الداخلي.

9- الجسيمات البيروكسية (عملية الأكسدة):

البيروكسية: هي عبارة عن مقصورة استقلابية متخصصة يحدها غشاء واحد (الشكل 34). و تحتوي البيروكسيات على أنزيمات تنقل الهيدروجين من مختلف الركائز إلى الأكسجين، فتولد بذلك بيروكسيد الهيدروجين كمنتج ثانوي تشتق منه هذه العضية اسمها. و ربما كانت لهذه التفاعلات وظائف مختلفة. و نشير إلى أن البيروكسيات تقوم بوظائف متعددة أهمها:

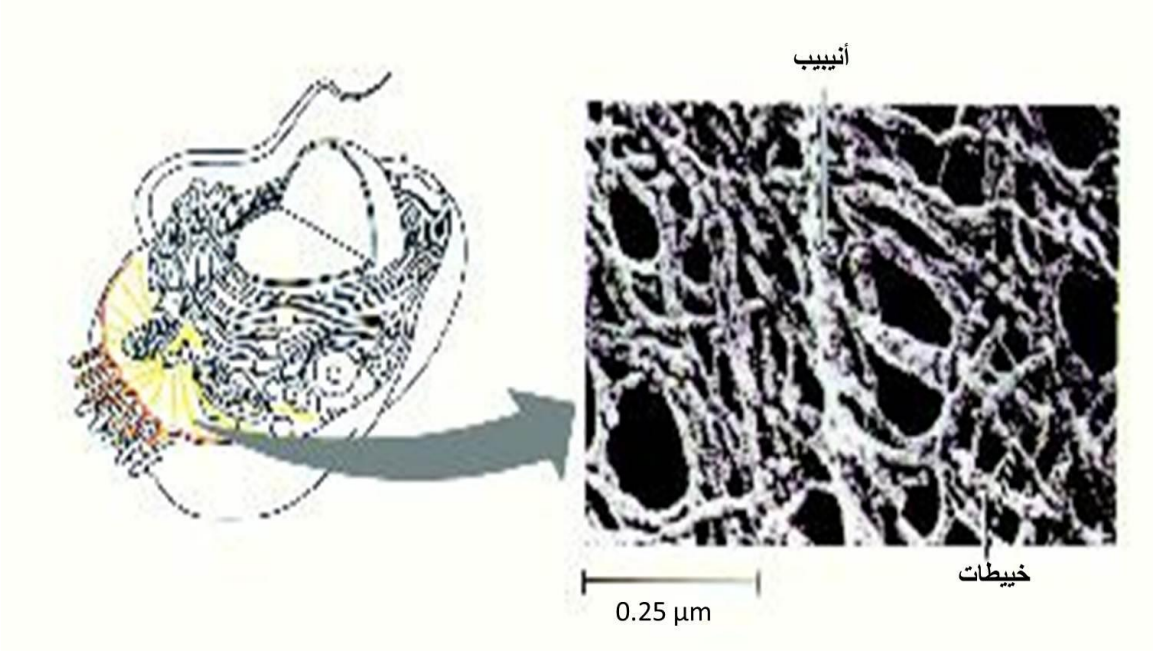
1- تستخدم الاكسجين لتفكيك الحموض الشحمية إلى جزيئات أصغر يتسنى نقلها الى المتقدرات، حيث تستخدم هنالك كوقود للتنفس الخلوي.
2- تزيل البيروكسيات في الكبد سمية الكحول و المركبات الضارة الأخرى عن طريق نقل الهيدروجين من السموم إلى الأكسجين.
3- مع العلم أن بيروكسيد الهيدروجين الذي تصنعه البيروكسيات هو نفسه سام أيضا، و لكن هذه العضيةالبيروكسية تحتوي على أنزيم يحول بيروكسيد الهيدروجين إلى ماء.
4- توجد بيروكسيات متخصصة تدعى جسيمات غليوكسيدية في الأنسجة التي تختزن الشحوم، و تحتوي هذه العضيات على أنزيمات تباشر تحويل الحموض الدسمة إلى سكر.

الشكل (34) : البيروكسيات: تكون البيروكسيات كروية الشكل خشنة، و غالبا ما تكون ذات لب حبيبي أو بللوري يعتقد أنه ناجم عن اجتماع مكثف لجزيئات أنزيمية.

10- الهيكل الخلوي (شبكة من الألياف تنظم البنى و الفعاليات في الخلية):

لقد كشفت التحسينات التي طرأت على المجهر الالكتروني عن هيكل الخلية Cytoskeleton، تلك الشبكة من الألياف التي تمتد عبر السيتوبلاسما (الشكل 35). يتألف هيكل الخلية الذي يلعب دورا أساسيا في تنظيم بنى الخلية و فعالياتها، من ثلاثة أنماط من البنى الجزيئية و هي:

- أنيبيبات مكروية Microtubule
- خييطات دقيقة Microfilament
- خيوط بينية Intermediate filaments



الشكل (35): الهيكل الخلوي: تظهر في هذه الصورة المأخوذة بالمجهر الالكتروني النافذ كل من الأنيبياتالمكروية الثخينة الجوفاء، و الخييطات الرفيعة الصماء، أما الخيوط الوسيطة التي هي المكون الثالث للهيكل الخلوي فلا تبدو واضحة هنا.

وظائف الهيكل الخلوي (– الدعم، – الحركة، – التنظيم)

1- تتمثل الوظيفة الأساسية التي يقوم بها الهيكل الخلوي في الدعم الميكانيكي للخلية و صون شكلها، و هذا مهم جدا و خاصة للخلايا الحيوانية التي تفتقر للجدر.

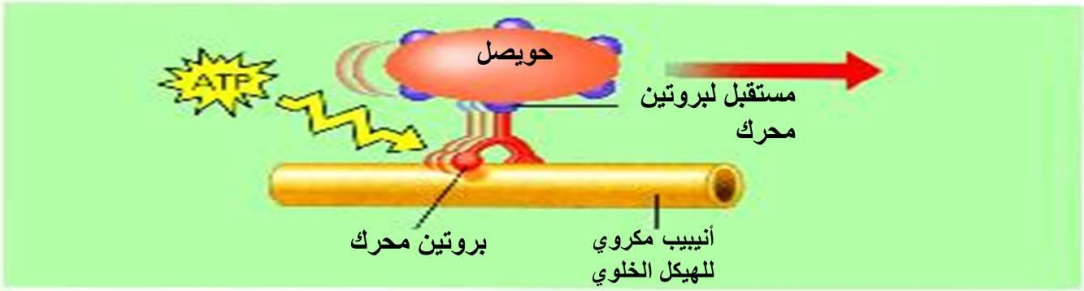
2- ينخرط الهيكل الخلوي في بضعة أنماط من الحركية الخلوية. و تندرج تحت مصطلح "الحركية الخلوية" هذا كلا من التغيرات في موقع الخلية و حركة أجزاء الخلية الضيق نطاقا. تتطلب حركة الخلية تضافر هيكل الخلية مع بروتينات تسمى البروتينات المحركة. و تعمل عناصر من الهيكل الخلوي و بروتينات محركة جنبا إلى جنب مع جزيئات الغشاء البلاسمي كي تتيح لمجمل الخلايا الانتقال على طول ألياف خارج الخلية.

و تحقق البروتينات المحركة حركات الأهداب و السياط عبر تشبثها بأنيبيبات داخل هذه العضيات و دفعها الواحدة عبر الأخرى. و هناك آلية مشابهة تتضمن خيوطات تجعل الخلايا العضلية تتقلص.

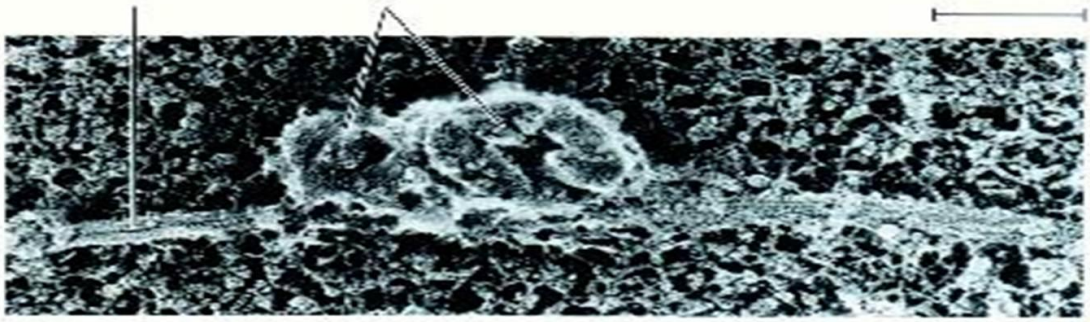
و كثيرا ما تسافر الحويصلات داخل الخلية إلى مقاصدها على طول طرق وحيدة الاتجاه يؤمنها الهيكل الخلوي. فمثلا بهذه الطريقة تهاجر الحويصلات التي تحتوي على جزيئات الناقل العصبي إلى ذرى المحاوير التي هي استطالات من الخلايا العصبية تنطلق منها تلك الجزيئات كإشارات كيميائية باتجاه الخلايا العصبية المجاورة (الشكل 36).

3- تنظيم الفعاليات الكيميائية الحيوية في الخلية، فالهيكل الخلوي قادر على نقل القوى الميكانيكية التي تمارسها الجزيئات خارج الخلوية عبر بروتينات من سطح الخلية إلى داخلها، و حتى إلى نواتها.

د. حسان حسن



أ- تستطيع البروتينات المحركة المتصلة بمستقبلات لها على العضيات أن تسير العضيات على طول أنيبيبات مكروية، أو على خيبطات في بعض الحالات



تهاجر الحويصلات المشتملة على النواقل العصبية الى ذرى محاوير الخلية العصبية عبر الآلية المبينة في (أ).

الشكل (36): البروتينات المحركة و الهيكل الخلوي

مكونات الهيكل الخلوي:

يشير الجدول (1) الى الأنماط الرئيسية الثلاثة للألياف التي يتكون منها الهيكل الخلوي. أثخنها الأنيبيبات المكروية، و أرفعها الخيبطات الدقيقة (التي تدعى أيضا باسم الخيوط الأكتينية)، أما الخيوط البينية فهي ألياف ذات أقطار وسط بين النمطين السابقين.

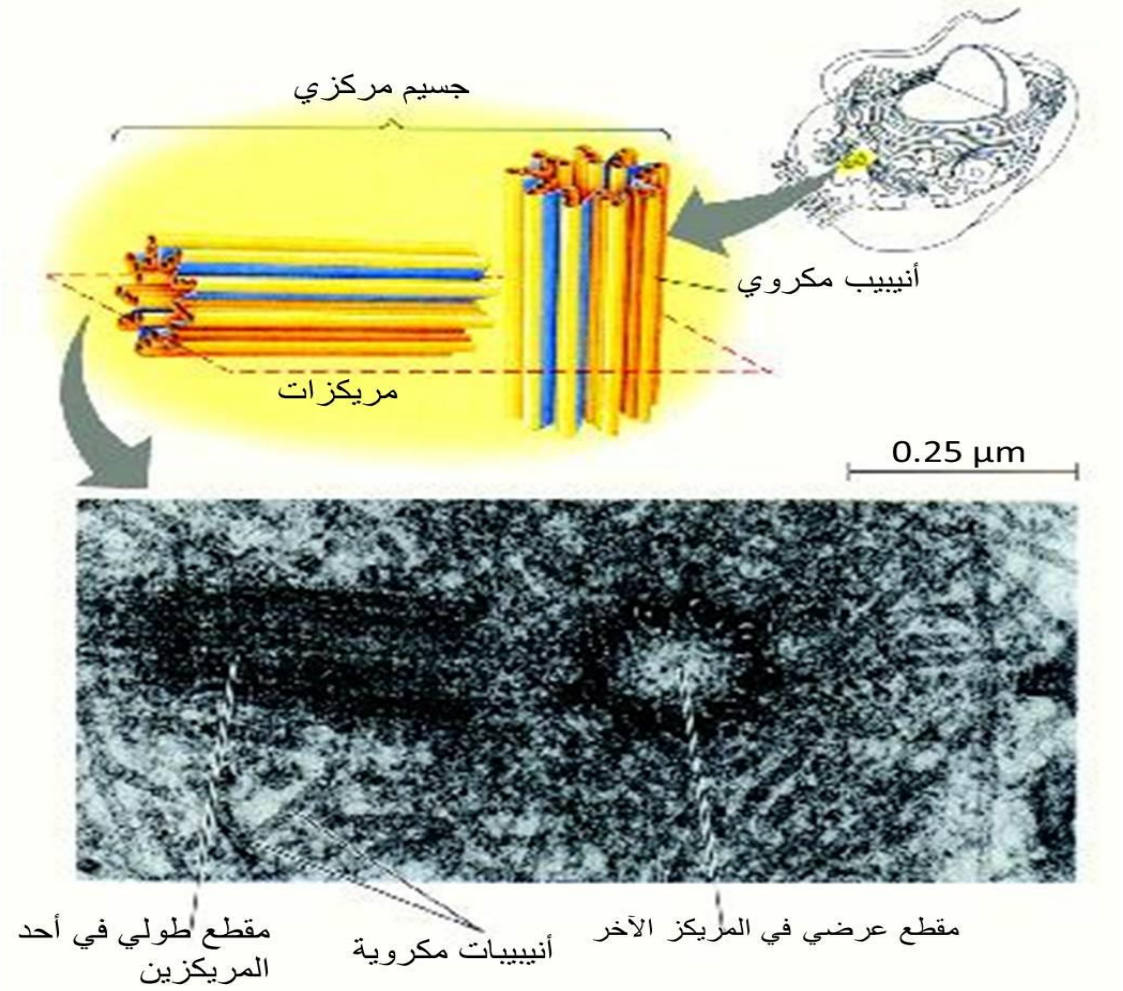
الخاصية	الأنيبيبات المكروية	الخيطات	الخيوط الوسيطة
البنية	أنابيب جوفاء: يتألف الجدار من 13 عمودا من جزيئات التوبولين	شريطان مجدولان من الأكتين، كل واحدة منهما هو مكثور من تحت وحدات أكتينية	بروتينات ليفية مبرومة باحكام على شكل حزم أثخن
القطر	25 نانومتر و لمعة من 15 نانومتر	7 نانومترات	12-8 نانومتر
تحت وحدات بروتينية	التوبولين مكونا من توبولين ألفا و بيتا	أكتين	واحدا من البروتينات العديدة المتنوعة من فصيلة الكيراتين حسب نمط الخلية
الوظائف الأساسية	- صيانة شكل الخلية - جسور ضغط و مقاومة - حركة خلوية - حركات صبغية في الانقسام الخلوي - حركة عضيات	- صيانة شكل الخلية - عناصر حاملة للتوتر - تغيرات في شكل الخلية - تقلص عضلي - انسيابية سيتوبلاسمية - حركة خلوية و انقسام خلوي	- صيانة شكل الخلية (عناصر حاملة للتوتر) - تثبيت النواة و عضيات أخرى - تشكيل الصفحة النووية
صورة مجهرية لأرومات ليفية	5 µm تحت وحدات بروتينية (كيراتينات) 8-12 nm	10 µm تحت وحدة الأكتين 7 nm	10 µm عمود من مكثورات التوبولين المثنوي 25 nm α β مثنوي التوبولين

الجدول (1): بنية الهيكل الخلوي و وظيفته.

أ– الأنيبيبات المكروية

توجد الأنيبيباتالمكروية في سيتوبلاسما جميع الخلايا حقيقيات النوى، و هي عبارة عن عصي جوفاء تقيس 25 نانومتر قطرا، و ما بين 200 نانومتر الى 25 ميكرومتر طولا. و يتكون جدار الأنبوب الأجوف من بروتين كروي يسمى التوبولين. و قد تتفكك الأنيبيبات المكروية و يستخدم توبولينها في بناء أنيبيبات مكروية أخرى في مكان آخر من الخلية و من أهم وظائف الأنيبيبات المكروية :

- تدعم الأنيبيبات المكروية الخلية و تمنحها شكلها.
- تفيد كمسارات تتحرك عليها العضيات المزودة ببروتينات محركة (الشكل 37).فمثلا توجه الأنيبيبات المكروية حويصلات الإفراز من جهاز غولجي إلى الغشاء البلاسمي، و تكون الأنيبيبات المكروية مسؤولة كذلك عن فصل الصبغيات أثناء انقسام الخلية.



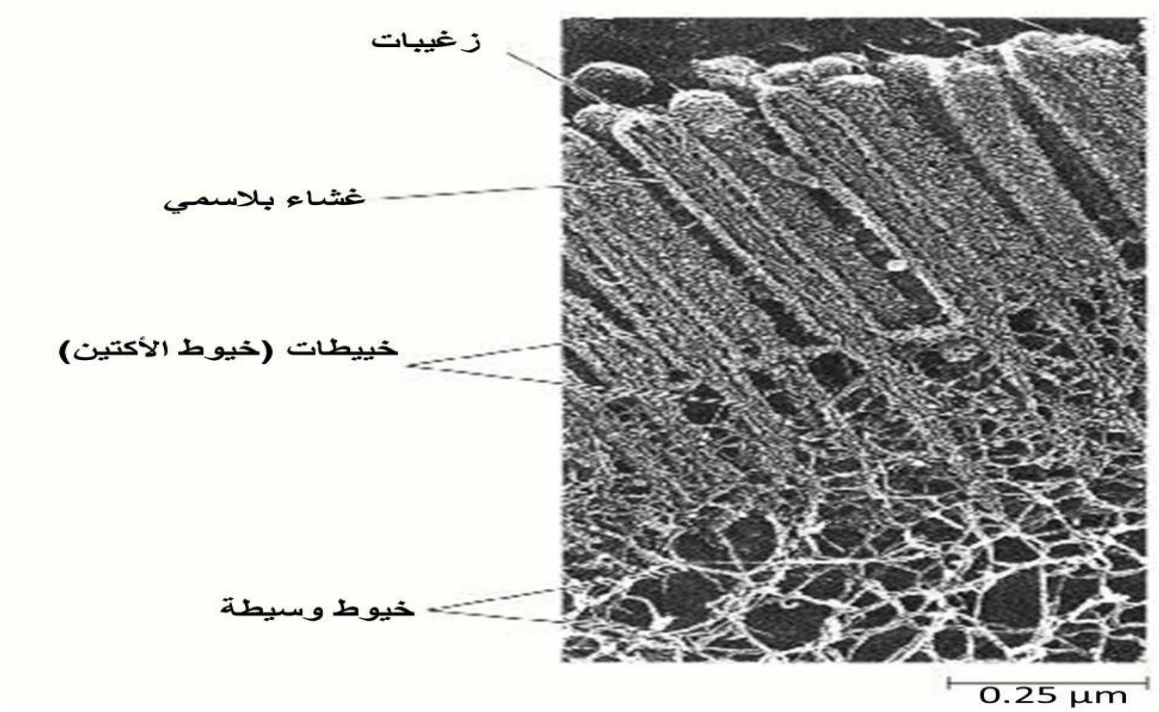
الشكل (37): جسيم مركزي يشتمل على زوج من المريكزات. خلية حيوانية تضم زوجا من المريكزات داخل جسيمها المركزي، الذي هو ذاك المكان القريب من النواة الذي تبدأ منه الأنيبيبات المكروية.

ب- الخييطات (خيوط الأكتين)

الخييطات هي عصيات صلبة تقيس أقطارها 7 نانومتر تقريبا. و تدعى أيضا خيوط الكتين، و هو بروتين كروي. و الخييط هو سلسلة مضاعفة ملتوية من تحت وحدات الأكتين. و توجد الخييطات بشكل خيوط خطية، لكنها تستطيع تشكيل بنية شبكية، بسبب وجود بروتينات رابطة على طول جانب خيط الأكتين مما يسمح بتمادي خيط جديد بمثابة فرع و يبدو أن الخييطات موجودة في جميع الخلايا حقيقيات النوى. ومن أهو وظائف الخييطات هي:

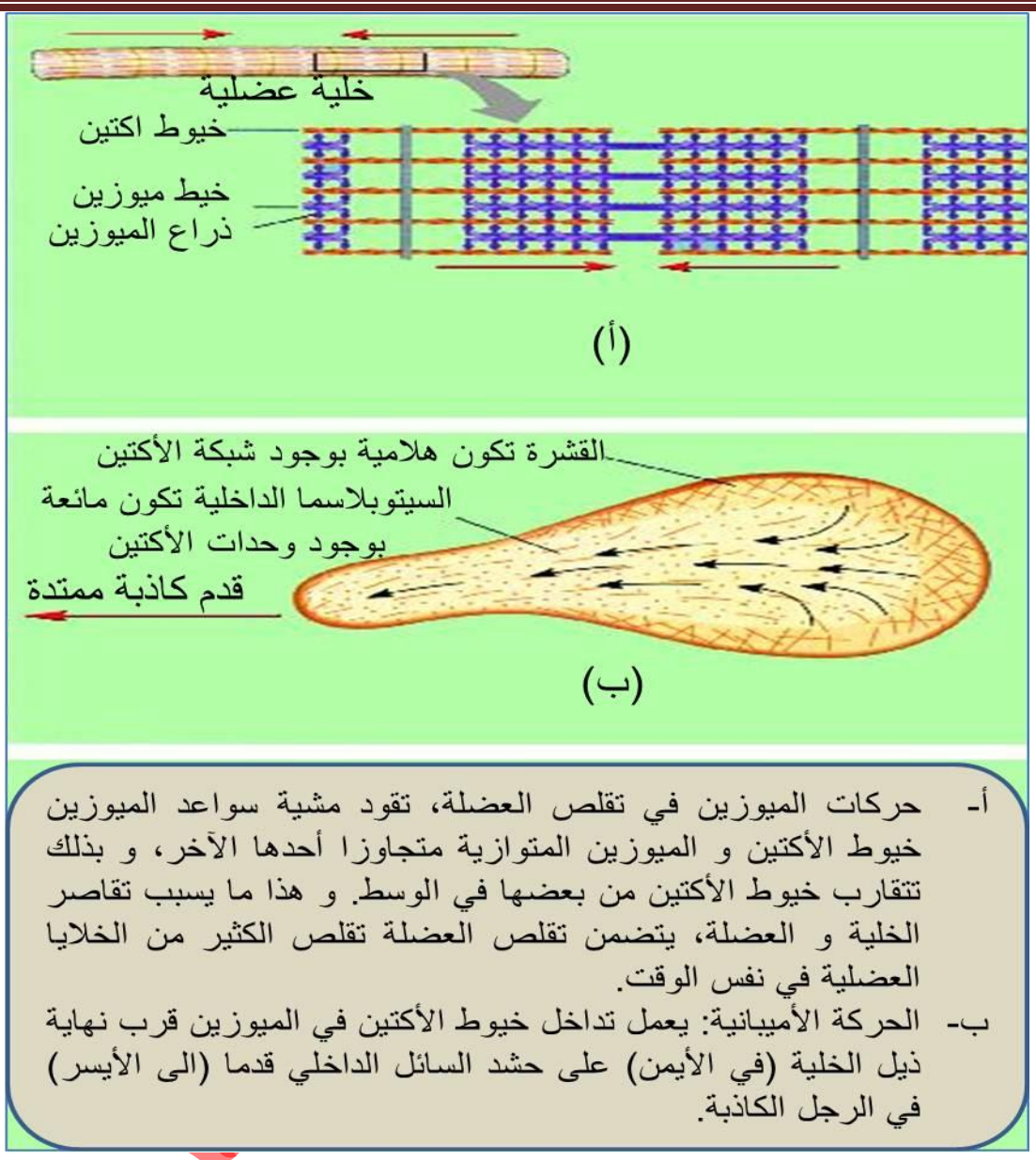
- على النقيض من دور الأنيبيبات المكروية في الدعم و المقاومة، فان الدور البنيوي للخييطات هو تحمل التوتر (قوى السحب).
- تساعد الخييطات من خلال قدرتها على تشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد الى الداخل تماما من الغشاء السيتوبلاسمي، في دعم شكل الخلية.
- تؤلف حزم الخييطات لب الزغيبات في الخلايا الحيوانية المتخصصة في نقل المواد عبر الغشاء البلاسمي (كما في خلايا الأمعاء) و هذه الزغيبات هي انثناءات رشيقة تزيد من مساحة سطح الخلية (الشكل 38).

د. حسان حسن



الشكل (38): الدور البنيوي للخييطات. يزداد سطح هذه الخلية المعوية الماصة للغذاء اتساعا بفضل كثرة زغيباتها، و تتقوى الاستطالات الخلوية بحزم من الخييطات. تترسخ خيوط الأكتين هذه على شبكة من الخيوط الوسيطة.

- تلعبدورا هاما جدا في حركة الخلية، حيث تعتبر جزءا من الجهاز الذي يساعد على تقلص الخلايا العضلية.فالآلاف من خيوط الأكتين تنتظم متوازية على طول الخلية العضلية، و تتداخل مع خيوط الميوزين (الشكل39–أ). و كذلك يلعب تقلص الكتين و الميوزين دورا في الحركة الميبانية (الشكل 39 – ب)، إذ تزحف خلية ما كالأميبة على طول السطح عن طريق التمدد و الانسياب في استطالات خلوية تدعى الأرجل الكاذبة.



أ- حركات الميوزين في تقلص العضلة، تقود مشية سواعد الميوزين خيوط الأكتين و الميوزين المتوازية متجاوزا أحدها الآخر، و بذلك تتقارب خيوط الأكتين من بعضها في الوسط. و هذا ما يسبب تقاصر الخلية و العضلة، يتضمن تقلص العضلة تقلص الكثير من الخلايا العضلية في نفس الوقت.

ب- الحركة الأميبانية: يعمل تداخل خيوط الأكتين في الميوزين قرب نهاية ذيل الخلية (في الأيمن) على حشد السائل الداخلي قدما (الى الأيسر) في الرجل الكاذبة.

الشكل (39): الخييطات و الخاصية الحركية. لقد أسقطت النوى و كثير من العضيات الأخرى من الأمثلة الثلاثة الظاهرة في الشكل و ذلك لايضاح آلية الحركة.

ج- الخيوط البينية (الوسيطة)

لقد سميت كذلك نسبة لأقطارها التي تتراوح ما بين 8-12 نانومترا. و هي بذلك أثخن من الخييطات و لكنها أقل من الأنيبيبات المكروية. و من أهم وظائف هذه الخيوط هي:

- تحمل التوتر كما هو الحال في الخييطات الدقيقة.
- للخيوط الوسطية أهمية في تدعيم شكل الخلية و تثبيت أوضاع بعض العضيات، فمثلا ، تجلس النواة عادة ضمن قفص من الخيوط الوسيطة و تتثبت في موضعها بواسطة فروع من خيوط متمادية في السيتوبلاسما. وهناك خيوط وسيطة تؤلف الصفيحة النووية.

تشكل الخيوط الوسيطة صفا منوعا من عناصر الهيكل الخلوي، بحيث يتألف كل منها من تحت وحدة جزيئية مختلفة تنتمي إلى طائفة من البروتينات تتضمن عناصرها الكيراتينات. و بذلك تختلف عن الخييطات و الأنيبياتالمكروية التي تتصف بثبات القطر و التركيب في جميع الخلايا حقيقيات النوى.

تعتبر الخيوط الوسطية تركيبات خلوية أكثر ديمومة من الخييطات و الأنيبيبات المكروية التي تتفكك ثم تجتمع مجددا في أجزاء مختلفة من الخلية. و حتى بعد موت الخلايا فان شبكات الخيوط الوسيطة تستمر، فمثلا تشتمل طبقة جلدنا الخارجية على خلايا جلدية ميتة مليئة ببروتين الكيراتين. إن المعالجات الكيميائي المزيلة للخييطات و النيبيبات المكروية من سيتوبلاسما الخلايا الحية تخلف وراءها شبكة من الخيوط الوسيطة التي تحفظ الشكل الأصلي للخلية.

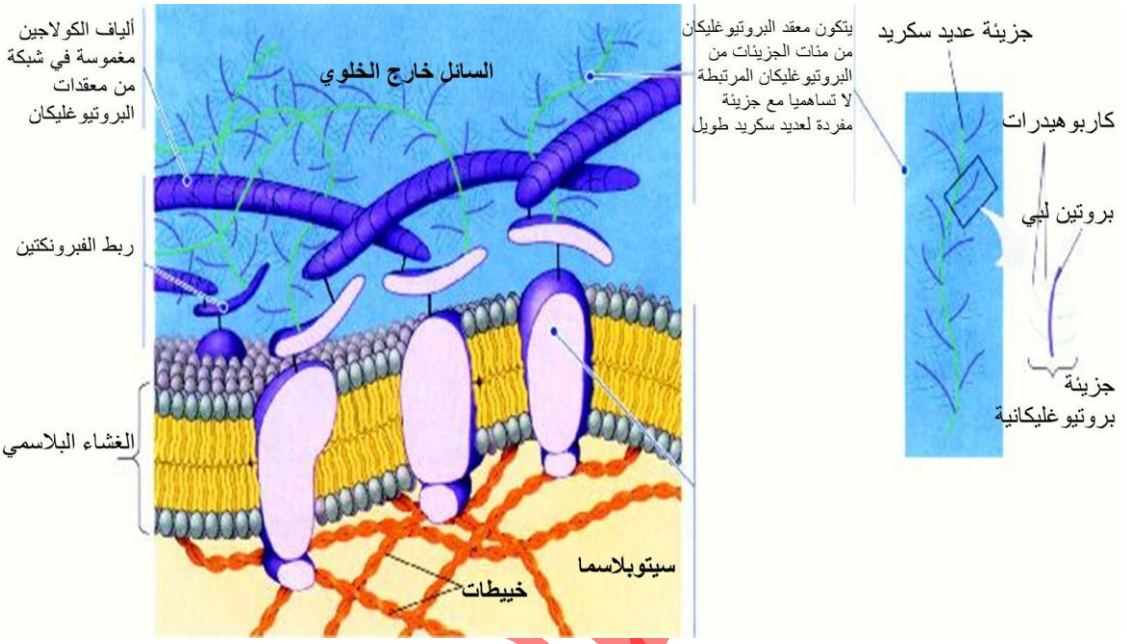
المكونات خارج الخلوية و الاتصالات بين الخلايا في تنسيق الفعاليات الخلوية:

تتربع على سطح الخلية بنى أخرى تتميز بوظائف مهمة جدا، فعلى الرغم من أن الغشاء السيتوبلاسمي يشكل الحد الخارجي للخلية فان معظم الخلايا تصطنع مواد مختلفة و تفرزها خارج نطاق الغشاء البلاسمي لكي تقوم بوظائف خلوية كثيرة.

- اللحمة (أو المطرس) خارج الخلوية للخلايا الحيوانية:

رغم أن الخلايا الحيوانية تفتقر لجدر مشابهة لجدر الخلايا النباتية فإنها ذات لحمة خارج خلوية معقدة (الشكل 40). إذ تشكل البروتينات السكرية التي تفرزها الخلايا المحتوى الرئيسي لهذه

اللحمة. و يعتبر الكولاجين من أكثر البروتينات السكرية وفرة في اللحمة خارج الخلوية للخلايا الحيوانية. و يشكل الكولاجين نصف مجمل البروتينات في جسم الإنسان تقريبا.



الشكل (40): اللحمة (أو المطرس) خارج الخلوية لخلية حيوانية. يختلف التركيب الجزيئي و البنيوي للمطرس خارج الخلوي من نمط خلوي إلى آخر.

الموصلات داخل الخلوية:

ينتظم الكثير من الخلايا الحيوانية في نسج و أعضاء و منظومات أعضاء، فتتلاصق الخلايا المتجاورة و تتواصل و تتأثر عبر رقع خاصة للتماس الفيزيائي المباشر.

تمتلك الحيوانات ثلاثة أنماط من الموصلات و هي:

- موصلات محكمة
- جسيمات رابطة
- موصلات فجوية

و تتوضع هذه الأنماط الثلاث عموما في نسج الظهارة المبطنة لسطوح الجسم الداخلية. و يوضح الشكل (41) خلايا ظهارية من بطانة الأمعاء لإظهار هذه الموصلات.

الشكل (41): الموصلات بين الخلوية في النسج الحيوانية.