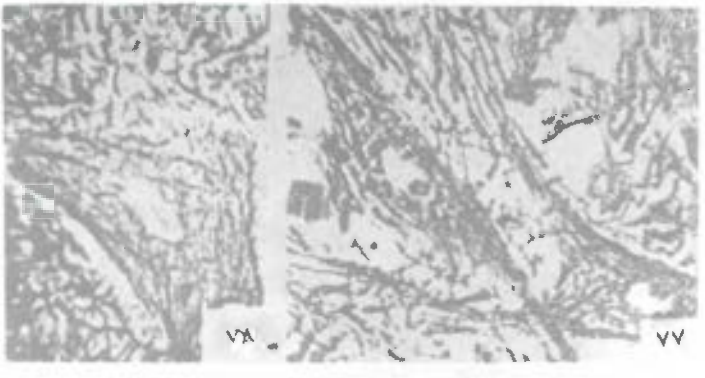
الفصل الثانى عشر

التراكيب الليفية FIBRILAR STRUCTURES

يحدث اثناء الفترة المبكرة للنمو أثناء تميز الخلايا أن يتشكل جزء من سيتوبلازم بعض الخلايا التى لها وظائف خاصة بطرق متعددة مكونا تراكيب ليفية مثل الليفات العصبية والليفات العضلية .

الليفات العصبية Neurofibrils

توجد الليفات العصبية فى الخلايا العصبية فقط ، وهى تظهر على شكل خيوط دقيقة فى السيتوبلازم تمتد فى جميع الاتجاهات وكذلك فى المحور والشجيرات . وقد أمكن فى العينات المثبتة اظهار الليفات العصبية وفق طرق معينة مثل طريقة كاهال Cajal وطريقة وللس Willis باستخدام نيترات الفضة .



(شكل ٧٧ ، ٧٨)
الليفات العصبية فى إحدى الخلايا العصبية فى الكتكوت

وقد كان الوجود الحقيقى لهذه الليفات محل جدل منذ أن اكتشفها ريماك Remak (١٨٤٣) ، حيث أن كثيرا من الباحثين لم يتمكنوا من مشاهدتها فى الخلايا الحية ومن ثم اعتبروا ظهورها فى التحضيرات مجرد شئ غير حقيقى ناتج عن تأثير الكيماويات المستعملة

فى التحضير . على أن كثيرا من الباحثين استطاعوا مشاهدتها فى الخلايا العصبية للفقاريات واللافقاريات خاصة باستخدام ميكروسكوب التباين الضوئى . وبالاضافة إلى ذلك فإنه عند فحص السنوبلازم الحى فى محاور الألياف العصبية العملاقة بمجهر التباين الضوئى لوحظ وجود مادة مرتبة على هيئة تكوينات دقيقة موازية للمحور . وقد أمكن فيما بعد فصل مكونات المحور عن الغلاله الميلينية وفحصها بالمجهر الالكترونى .

(شكل ٧٩)
الليبيفات العصبية فى خلية عصبية فى الحبل الشوكى لأحد الفقاريات

التركيب باستخدام المجهر الالكترونى Ultrastructure :

تبدو الليفيفات العصبية للخلايا العصبية فى العقد الشوكية للفأر الأبيض كخيوط تكون شكلا شبكيا . وقد أوضح الفحص بالمجهر الإلكترونى لسنيوبلازم المحاور العصبية المفصولة وجود مادة ليفية تتكون من الليفيفات ذات أطوال غير محددة وأسطح ناعمة وذات اقطار يتراوح بين ١٠ - ٤٠ ميكرون . كما أوضحت الدراسات التى أجريت على محاور الألياف العصبية الكيراليلينية للفص العصبى للغدة النخامية وجود خيوط دقيقة (أقطارها ١٠٠ أنجستررون أو أقل) وأخرى سمكية (أقطارها من ٢٠٠ - ٣٠٠ أنجستررون) . وطول هذه الخيوط غير محدد وهى تناظر تلك التى سبق وصفها فى ستوبلازم المحاور المفصولة عن الغلالة الميلينية ، وتسمى هذه الخيوط " **الليفيفات العصبية الأولية** Primary neurofibrils ولهذه الخيوط مظهر أنبوبى محدد ذو جوانب تتميز بكثافتها العالية كما تظهر فى صور المجهر الالكترونى . وعلى ذلك فهناك طرازان من خيوط سيتوبلازم محاور الخلايا العصبية ، وهى **الخيوط العصبية** neurofilaments ومن ثم فإنه يمكن القول أن الخيوط العصبية والليفيفات العصبية الأولية تناظر ما سمى باسم **الليفيفات العصبية** neurofibrils التى تظهر فى التحضيرات الهستولوجية والخلوية العادية .

المراحل التكوينية لليفيفات العصبية Development :

أوضح المؤلفون أن الليفيفات العصبية فى الخلايا العصبية للحبل الشوكى والعقد العصبية للأطوار الجنينية المبكرة تظهر كخيوط دقيقة متداخلة فقط فى منطقة التل المحورى axon hillock ، على أن هذه الليفيفات تكون أوضح فى المراحل الجنينية المتأخرة ، كما تبدأ فى الإمتداد حول النواة فى عدد محدود من الخلايا العصبية إلا أنه فى معظم الخلايا يتحدد وجود الليفيفات فى منطقة التل المحورى فقط ، كما تبدو هذه الليفيفات ممتدة على هيئة حزمة داخل سيتوبلازم محاور الخلايا العصبية .

وفى مراحل التكوين المتقدمة تزداد كمية الليفيفات العصبية وتحيط بالنواة وتبدو متداخلة فى منطقة السيتوبلازم كما أنها تكون حزما تمتد داخل التفرعات الشجيرية .

وفى الحيوانات المسنة ، تتقطع الليفيفات العصبية فى الاتجاه العرضى الى خيوط قصيرة مما أدى إلى التباس الامر أمام بعض الباحثين الذين اعتبروها أجسام سبحية " ميتوكوندريا " .

أهمية الليفات العصبية Significance of neurofibrils :

لا يزال الدور الوظيفى لليفات العصبية محل جدل ذلك أنه بينما يرى بعض الباحثين فى مجال الجهاز العصبى أن لها دورا فى التوصيل العصبى نجد البعض الاخر ينكرون تماما هذا الدور ويقولون بأن التوصيل العصبى يحدث على السطح الغشائى لمحاور الخلايا العصبية . وقد دلت بعض الدراسات على أن مادة الليفات العصبية حساسة جدا حيث أن قطع المحاور يؤدى إلى تحطمها قبل أن يتأثر التوصيل العصبى .

كذلك يعتقد بعض الباحثين بأن الليفات العصبية لها دور فى النشاط الغذائى للمحور . وعلى ذلك فإنه لها دخلا فى عمليات تخليق ومرور بعض المواد الهامة للمحور . وهناك من الدلائل ما يشير إلى أن سيتوبلازم المحور يتم تكوينه باستمرار فى سيتوبلازم الخلية العصبية .

وبالإضافة الى ذلك فإن بعض المشتغلين بعلم الخلية يعتقدون بأن هذه الليفات أو الأنيبيات قد تلعب دورا هاما فى حمل بعض الأنظمة الإنزيمية أو المركبات الأخرى اللازمة للنشاط الوظيفى للنهايات العصبية والمتعلق بانتقال السيال العصبى .

التغيرات المرضية فى الليفات العصبية Pathological alterations :

تعطى الليفات العصبية دلالة على مدى النشاط الخلوى حيث يعتقد أن مقدار سمكها يختلف فى الحالات الفسيولوجية المختلفة . كما أن الليفات العصبية تستجيب بطرق متعددة لتأثير المواد الكيماوية المختلفة . فقد وجد مثلا أن الليفات العصبية فى خلايا النخاع المستطيل للفأر تتفتت وتختفى من أجسام الخلايا تحت تأثير بعض المبيدات الحشرية ولا يبقى منها سوى تلك الممتدة فى المحاور . وعلى العكس من ذلك فإن الليفات العصبية كخلايا بركنجه لا تتأثر بدرجة ملحوظة بهذه المواد .

الليفـــات العضلية Myofibrils

يتميز ستوبلازم الالياف العضلية بدرجة متميزة حيث يتحور معظمه لتكوين طراز خاص من الليفات يعرف باسم " **الليفات العضلية** myofibrils " وهى تميز بقدرتها الفائقة على الانقباض .

التركيب : structure

تبدو الليفات العضلية متجانسة فى العضلات الملساء (اللاإرادية) ، أما فى العضلات الهيكلية (اللاإرادية) ، والقلبية فهى تظهر مخططة لوجود مناطق **داكنة** dark bands متبادلة مع أخرى **مضيئة** light bands . وفى هذه الخلايا يبقى جزء صغير من السيتوبلازم على حالته الجنينية ويسمى **الساركوبلازم** sarcoplasm وهو يقع بين الليفات العضلية خاصة فى المنطقة المحيطة بالنواة .

وتتكون العضلات الهيكلية من حزم من ألياف اسطوانية الشكل متعددة الأنوية يصل قطرها حوالى ١٠ - ١٠٠ ميكرون ، بينما تمتد فى الطول لعدة ملليمترات أو حتى بضع سنتيمترات . ويسمى غشاء الليفة العضلية ، **الغشاء العضلى** ، sarcolemma وهو يمثل الغشاء الخلوى إلا أنه مهيأ كهربيا للإستجابة للسيالات العصبية بصورة معينة ومن ثم تستجيب الليفة العضلية كلها .

وتكون الليفات العضلية الأداة الإنقباضية لليفة العضلية ، وتمتد كل ليفة على هيئة خيط رفيع يصل قطره إلى حوالى واحد ميكرون وهى تبدو تحت المجهر الضوئى مخططة عرضيا مما يعطى الشكل المميز لليفة العضلية كلها .

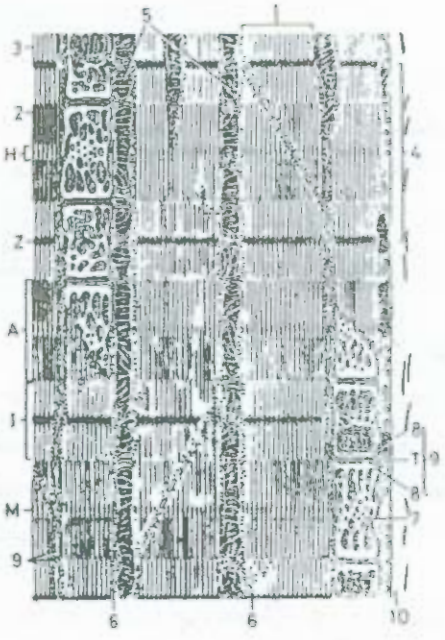
وتتكون الليفة العضلية من وحدات انقباضية تكرارية تسمى **القطع العضلية** sarcomeres يحد كل منها خط أو شريط داكن يسمى **خط زد** (Z) أو الحاجز البعيد telophragm ، بمعنى أنه يمكن القول بأن القطعة العضلية هى المنطقة من الليفة العضلية الواقعة بين خطى زد متتاليين . ويلاحظ أن خط زد يقع فى منتصف منطقة باهتة (أو مضيئة) يطلق عليها النطاق **أو المنطقة** I . أما النطاق الآخر - وهو يقع فى المنطقة الوسطى من القطعة العضلية فهو أكثر دكنة من النطاق الأول ويسمى النطاق أو **المنطقة** A . وفى ظروف فسيولوجية خاصة تظهر عند منتصف هذا النطاق منطقة أقل دكنة تسمى قرص

هانسن أو قرص هـ (H) .وهو يقسم النطاق الى قسمين . وفى العضلة المنبسطة يبلغ طول المنطقة حوالى ٥ر١ ميكرون بينما يبلغ طول المنطقة حوالى ٨ر٠ ميكرون . ويمكن بسهولة ، باستخدام الميكروسكوب الضوئى ، تمييز مناطق الخيوط الرفيعة (نطاق I) من مناطق الخيوط السميكة (نطاق A) .

(A) منطقة "A"

(Z) خـــط "Z"

(شكل ٨٠)
صورة بالميكروسكوب الالكترونى
لعضلة مخططة فى الأرنب .



(I) منطقة "I"

(H) قـرص "H"

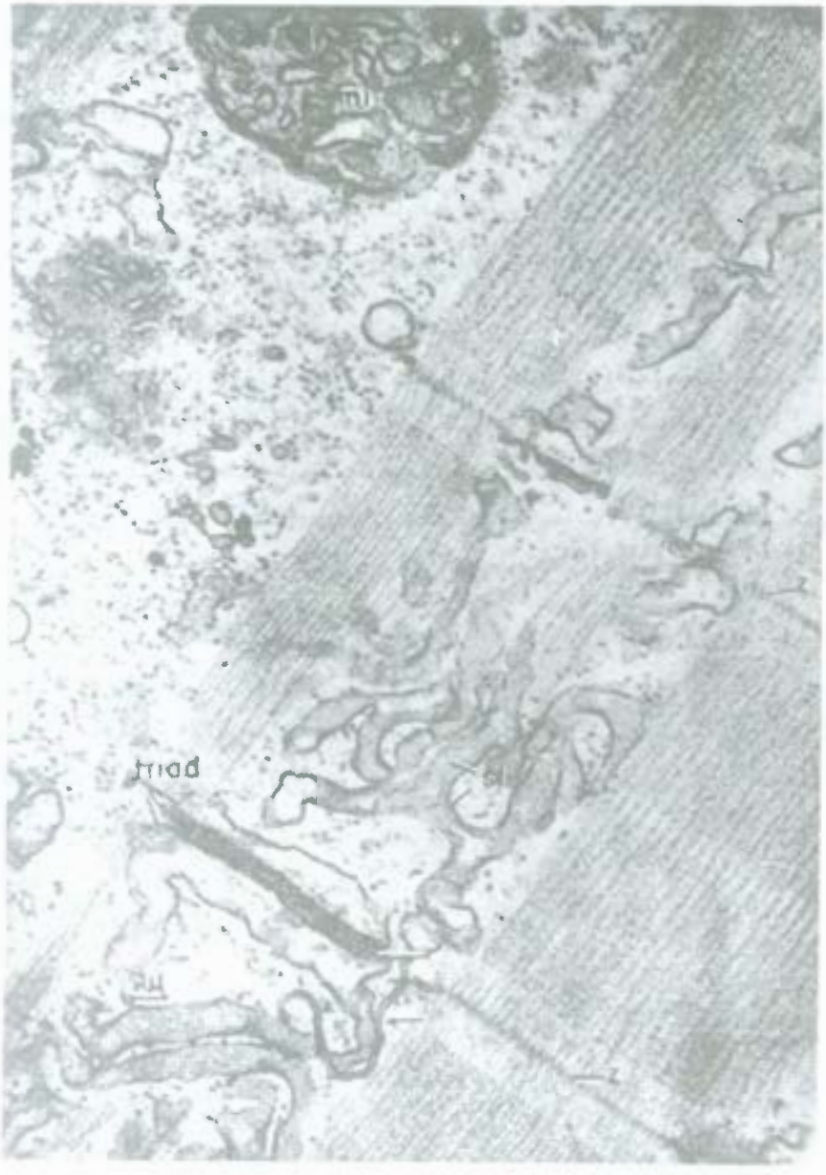
(شكل ٨١)
التركيب الدقيق لخلية عضلية
١- ليفات عضلية
٢- خيوط " ميوسين " مكونة منطقة "A"
٣- خيوط " اكتين " مكونة منطقة "I"

التركيب الدقيق لليفات العضلية Ultrastructure of myofibrils :

توضح صور المجهر الإلكترونى أن الليفات العضلية تتكون من تراكيب دقيقة منتظمة الترتيب تسمى " **الخييطات العضلية** myofibrils " . وهناك نوعان من الخييطات العضلية فى الفقاريات والحشرات ؛ أحدهما يصل قطره إلى حوالى ١٠٠ أنجستروم وطوله الى حوالى ١٫٥ ميكرون أما الطراز الثانى فيصل قطره إلى ٦٠ أنجستروم وطوله الى حوالى ٢ ميكرون .

وفى حالة الاسترخاء ، نجد أن النطاق I يتكون من خييطات رفيعة بينما تتكون المنطقة H من خييطات سميكة ، وأن النطاق A يتكون من كلا النوعين من الخييطات . ويمكن ملاحظة النمط المنتظم لترتيب هذه الخييطات فى قطاع عرضى فى النطاق A . ففى عضلات الفقاريات ، نجد أن كل خيط سميك يحيط به ستة من الخييطات الرفيعة يقع كل منها فى وسط ثلاثة من الخييطات السميكة . ويلاحظ أن الخييطات الرفيعة لقطعة عضلية تمر عبر الخط Z إلى القطعة العضلية التالية .

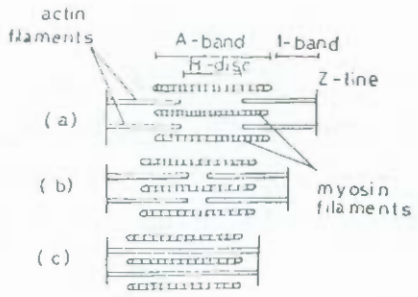
ويتصل نوعا الخييطات (السميكة والرفيعة) معا بنظام معين من الوصلات العرضية التى تلعب دورا هاما فى الإنقباض العضلى . ويتصل كل خييط سميك بالخييطات الستة الرفيعة المحيطة به كل مسافة ٤٠٠ أنجستروم فى نظام أهليلجى (حلزونى) له أهمية خاصة فى عملية الإنقباض والإنبساط .



(شكل ٨٢)
صورة بالميكروسكوب الإلكترونى للبيفات العضلية

ميكانيكية الانقباض العضلى على أساس فعاليات الخيوطات العضلية :
Macromolecular mechanism of contraction

لقد أوضحت الدراسات المجهرية أن الإنقباض العضلى يحدث على مستوى الخيوطات العضلية . ويمكن دراسة هذه التغيرات فى الحالة الحية باستخدام ميكروسكوب التباين الضوئى . ويلاحظ أنه بينما تبقى المنطقة ثابتة الطول على مدى امتداد العضلة ، نجد أن المنطقة تتغير عند الإنقباض . وفى نفس الوقت نجد أن طول المنطقة I يتغير مع الإنقباض بحيث نجد أن المسافة بين نهاية المناطقة H لقطعة عضلية وبداية منطقة H لقطعة أخرى تظل ثابتة . وقد أدت هذه المشاهدات إلى استنباط ما يسمى بنظرية انزلاق الخيوط Gliding mechanism theory . وعلى أساس هذا الإفتراض فإن كلا النوعين من الخيبيطات العضلية لا يحدث تغير فى أطوالهما ولكن الذى يحدث هو إنزلاق لهذه الخيطات . وبعبارة أخرى فإن العضلة تنقبض بانزلاق الخيبيطات الرفيعة (الأكتين) بين الخيبيطات السميكة (الميوسين) وعندما يكون الإنقباض قويا بدرجة كافية فإن الخيبيطات الرفيعة يتقابلان معا . وقد تظهر أيضا مناطق داكنة نتيجة تراكب الخيبيطات فى هذه الحالة (انقلاب الخيوط ovrlaping of filaments) .



(شكل ٨٣)

تداخل مناطق الاكتين والميوسين

التركيب البروتينى للليفات العضلية Structural proteins of the myofibrils :

دلت الدراسات الحديثة على أن التراكيب الانقباضية لليفات العضلية تتكون تقريبامن بروتينات فقط . ويقدر أن ٩٠٪ من البروتينات عبارة عن ميوسين myosin (بروتين ليفى

Fibrous protein) واكتين (بروتين كرى Globular protein) . ويمكن فصل كل منهما وتنقيته بوسائل خاصة . ويكون الميوسين حوالى نصف البروتين الكلى ، ويمكن استخلاصه من الليفات العضلية بمحاليل ملحية خاصة . وبذلك يبقى لدينا الأكتين كما هو .

ومن المعروف أن للميوسين القدرة على تفكيك مادة الأوينوزين ثلاثى الفوسفات ATP ، وأن الاكتين يرتبط بمادة الأدينونين ثلاثى الفوسفات هذه او مشتقاتها .

وقد لوحظ أنه عند وضع هاتين المادتين البروتينتين معا فى أنبوبة اختبار فانهما يكونا مركب يسمى " اكتوميسين actomysin " له القدرة على الإنقباض فى وجود مادة أدينوزين ثلاثى الفوسفات . وتوضح هذه التجربة أن التفاعل بين الميوسين والأكتين ضرورى لحدوث الإنقباض . وقد وجد أن الخيوط السميكة (١٠٠ أنجستروم) تتكون من الميوسين بينما تتكون الخيوط الرفيعة (٦٠ انجستروم) تتكون من اكتين (يتصل به طراز آخر من البروتين يسمى تروبوميوسين tropomyosin) ، كما وجد أن التفاعل الذى يشاهد بين الميوسين والأكتين فى أنبوبة الإختبار يحدث فى الطبيعة بين خيوط الميوسين (السميكة) وخيوط الأكتين (الرفيعة) ، ويمكن القول أن التفاعل بين مجموعتى الخيوط هو المسئول عن عملية الإنقباض بصورة أساسية .

ويعتقد أن هذا التفاعل يحدث عن طريق وصلات عرضية يمثل كل منها جزيئا واحدا من اليومسين ، ويمكن لهذه الوصلات أن تتحرك لتمسك بأماكن محددة على جزئ الأكتين .

وبهذه الطريقة فإن قوة دفع لمسافة ١٠٠ أنجستروم تتولد قبل أن ترجع الوصلات إلى مكانها الأصلى ويلاحظ تحرر مجموعة فوسفات مع كل دورة .

ومن الواضح أن العضلات تعطينا نموذجا طيبا لتكامل التركيب مع الوظيفة وارتباطهما معا فى النواحى البيولوجية .

الشبكة الاندوبلازمية العضلية Sarcoplasmic reticulum :

تمتد الشبكة الاندوبلازمية العضلية فى الستوبلازم العضلى المسمى ساركوبلازم ، ولا توجد على هذه الشبكة الغشائية أية ريبوسومات ومن ثم تعتبر شبكة اندوبلازمية ناعمة أو ملساء، ويحتوى السيتوبلازم العضلى أيضا على ميتوكوندريا وجهاز جولجى

وقليل من الريبوسومات الحرة ، كما يحتوى على حبيبات جليكوجين تعتبر مخزنا للطاقة .

وتتميز الشبكة الاندوبلازمية العضلية إلى انيبيبات طولية متوازية فى المنطقة . وعندما تلتقى معا فى المنطقة تكون أكياس يطلق عليها " الأكياس الانتهائية " كما أنها تلتقى معا فى تركيب متشابك عند الخط . ويلاحظ امتداد أنيبيبات عرضية مستقلة عند الخط Z ، وهذه الأنيبيبات العرضية على اتصال بغشاء الليفة العضلية ، بحيث يمكن اعتبار تجويف الأنيبيبة العرضية حيزا خارج خلوى .

وعندما يستثار عصب العضلة ، تنتشر موجة عدم استقطاب عبر غشاء الليفة العضلية ومنه إلى غشاء الأنيبيبات العرضية وبالتالى تمتد الموجة إلى أعماق الخلية العضلية ويؤثر ذلك على الأكياس الإنتهائية المجاورة للانيبيبات العرضيه مما يخلق موجة عدم استقطاب على سطح الشبكة الاندوبلازمية كلها ، وينطلق الكالسيوم تبعا لذلك من على هذه الشبكة إلى السيتوبلازم العضلى ليتعلق بمادة التروبونين مما يهيئ للخطوات التالية فى عملية الإنقباض العضلى .

وظيفة الشبكة الاندوبلازمية العضلية :

The role of the sarcoplasmic reticulum

تقوم الشبكة الإندوبلازمية العضلية بنقل السيالات الحسية المحفزة داخل الخلايا العضلية . وقد أشار البعض إلى أن أغشية الشبكة الإندوبلازمية العضلية تعمل على إيجاد وسطين مختلفين داخل الخلية وأن هذا الغشاء مستقطب كهربيا مثله فى ذلك مثل الغشاء الخلوى لليفة العضلية وبهذا يكون لأغشية الشبكة الاندوبلازمية العضلية القدرة على نقل السيالات داخل الخلية العضلية بعرض استثارة الوحدات الانقباضية . وقد وجد أيضا أن الشبكة الاندوبلازمية العضلية تحوى العامل الانبساطى الذى يثبت نشاط انزيم ادينوزين ثلاثى فوسفات ATP الواقع فى الليفات العضلية مما يسبب انبساطها بعد انقباضها . ومما يذكر أن لدى أغشية الشبكة الاندوبلازمية العضلية القدرة على تثبيت أيونات الكالسيوم الضرورية للنشاط العضلى .