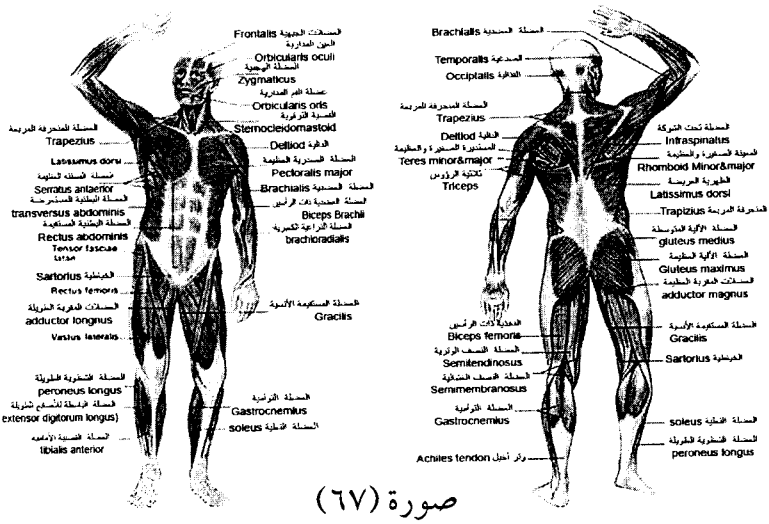
الفصل السابع

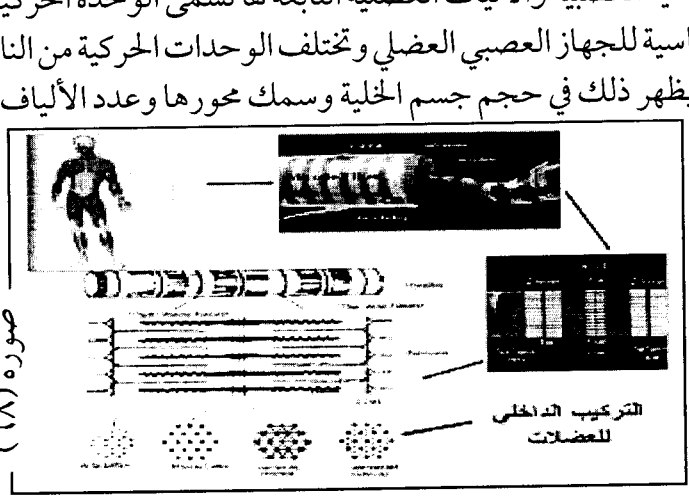
الجهاز العضلـــي



صورة (٦٧)

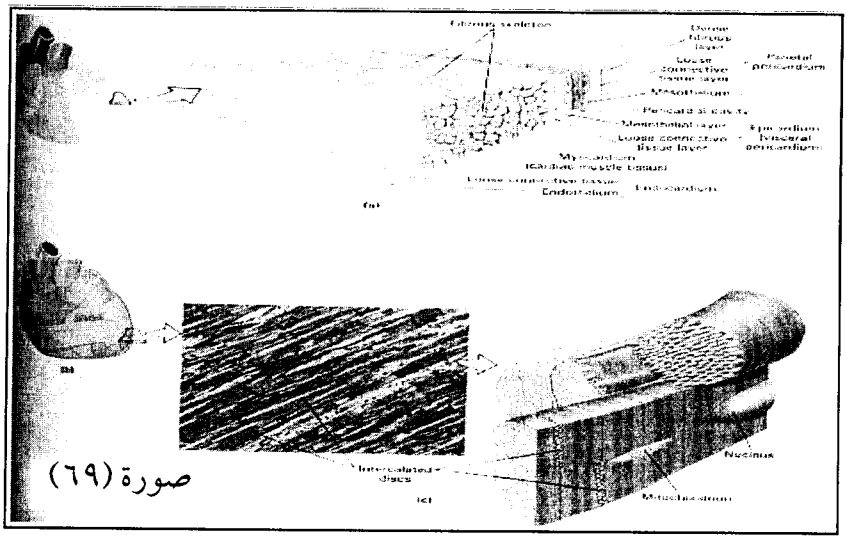
مقدمة:

يعتبر الجهاز العضلي هو المسئول عن تحريك أعضاء الجسم حيث تستقبل العضلة الهيكلية الإشارات العصبية الحركية، وتقوم بوظيفتها لأداء الانقباض العضلي. وهو يتكون من العضلات الهيكلية والخلايا العصبية المتصلة بها عن طريق المحاور العصبية التي تخرج من أجسام الخلايا العصبية لتصل إلى العضلات، حيث ينقسم المحور العصبي إلى عدة نهايات عصبية تتصل بكل منها ليفة عضلية في منطقة تسمى الصفيحة الانتهائية الحركية، وبناء على ذلك فإن كل خلية عصبية تتصل بعدد من الألياف العضلية، وهذه الوحدة المكونة من الخلية العصبية والألياف العضلية التابعة لها تسمى الوحدة الحركية، وهي تعتبر الوحدة الأساسية للجهاز العصبي العضلي وتختلف الوحدات الحركية من الناحية الوظيفية والشكلية، ويظهر ذلك في حجم جسم الخلية وسمك محورها وعدد الألياف بها.



صورة (٦٨)

فبينما يكون العدد خمسة ألياف في بعض الوحدات، نجد العدد في وحدات أخرى آلاف الألياف وخاصة في العضلات الكبيرة مثل عضلات الفخذ، ومن الناحية الوظيفية فإن الوحدات الحركية تختلف تبعًا لسرعة الانقباض العضلي، لذا هناك الوحدات الحركية البطيئة والوحدات الحركية السريعة، وتتميز الوحدات الحركية بصفة عامة ببعض الخصائص ومنها أنها تتبع في عملها قانون الكل أو لا.



صورة (٦٩)

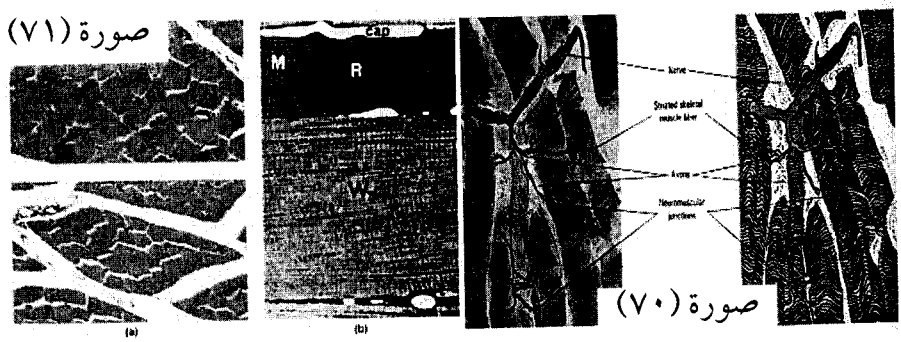
أي أن الوحدة الحركية تنقبض أو ترتخي بكامل أليافها في وقت واحد، ومن غير الممكن أن تنقبض بعض ألياف الوحدة الحركية، بينما البعض الآخر يكون في حالة ارتخاء، كما تتميز الوحدات الحركية بتبادل العمل فيما بينها خاصة إذا طالت فترة العمل العضلي، كما تشترك الوحدات في الانقباض العضلي بقدر القوة المطلوبة.

أنواع العضلات Types of Muscles

توجد في الجسم ثلاثة أنواع من العضلات، وهي: **العضلات الإرادية** «المخططة أو الهيكلية» .Skeletal M، **والعضلات اللاإرادية** Plain M «الملساء»، **وعضلة القلب**.

وتختلف هذه الأنواع تبعًا لوظائفها، ونوعية النسيج العضلي، حيث يلاحظ أن العضلات الإرادية تبدو تحت المجهر مخططة بما تحتويه من مناطق معتمة ومناطق مضيئة، بينما يلاحظ أن العضلات الملساء لا يظهر فيها مثل هذا التخطيط، ولكنها لا تخضع لإرادة الفرد فتعمل مستقلة، وتختلف عضلة القلب في تركيبها الذي يشبه العضلات

المخططة إلا أنها عضلة غير إرادية. وتشكل العضلات الإرادية «٤٠»٪ من وزن الجسم، بينما تشكل الملساء وعضلة القلب من ٥-١٠٪ من وزن الجسم.



صورة (٧٠)

صورة (٧١)

الخصائص العامة للنسيج العضلي الهيكلي:

١. **الاستثارية** وهي القدرة على الاستجابة للمنبه سواء كان هذا المنبه حراريًا أو كيميائيًا أو ميكانيكيًا أو كهربائيًا.

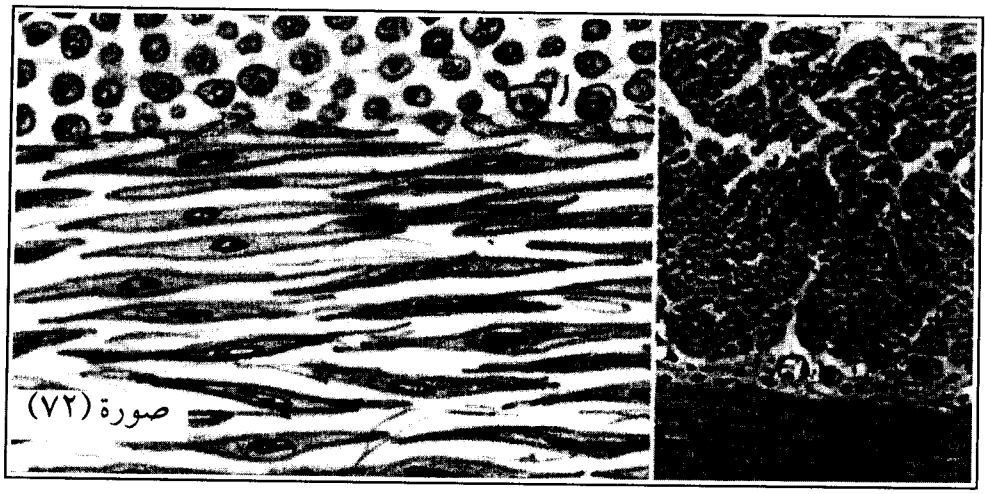
٢. **التقلصية**: يمكن للعضلة التقلص إما تحت سيطرة الجهاز العصبي إراديًا كما في العضلات الهيكلية أو لا إرادية كما في العضلات الملساء وعضلة القلب.

٣. **الانبساط**: عبارة عن عودة العضلة لطولها الطبيعي.

٤. **المرونة**: تتميز العضلة بقدرتها على المرونة، فإذا ما وقعت العضلة تحت تأثير شديد معين فإنها تعود مرة أخرى لنفس طولها.

تركيب العضلة:

تتكون العضلة من الألياف التي تتجمع في شكل Fasciculi حزم عضلية، وهذه الألياف يتحدد عددها خلال الأربع أو الخمسة أشهر الأولى بعد الولادة، ولا يتغير هذا العدد طوال العمر، إلا أن التدريب الرياضي يزيد من سمك هذه الألياف، وبالتالي يزيد سمك العضلة ككل ويغلف الليفة العضلية من الخارج غشاء يسمى السركوبلازم الهيولي العضلي والميتوكوندريا «مخزن الطاقة» كما تحتوي على الميوجلوبين وحبات الجليكوجين والدهون Fat، كما يوجد أيونات الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والكلورايد التي تقوم بدور هام في الانقباض العضلي.



صورة (٧٢)

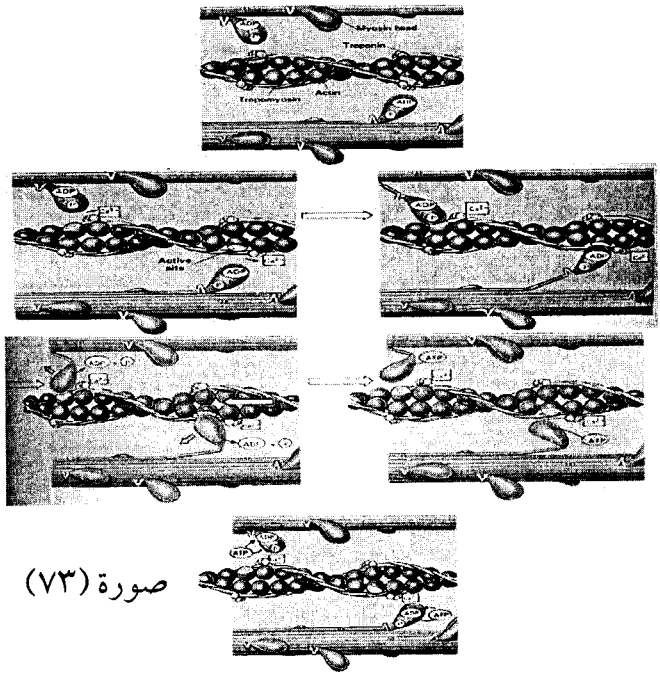
وتحتوي الليفة العضلية على الليفات وهي المسئولة على إتمام الانقباض العضلي.

وتتكون الليفة العضلية من خيوط متراصة على طول الليفة العضلية وتتكون من وحدات تدعى Sarcomere «قسيم عضلي» ساركومير، تحتوي على خيوط سميكة Thick filaments قطرها ١٢-١٨ نانوميتر، تتكون من بروتين المايوسين Myosin وخيوط دقيقة Thin fil قطرها ٥-٨ نانوميتر تتكون من بروتين الأكتين، وتتوسط الخيوط السميكة Sarcomere القسيم العضلي.

بينما يتصل بكل طرف من الساركومير، «القسيم العضلي» الاكتين بخط يسمى Z-Line, ويمثل هذا الخط شبكة اتصال الليفات الدقيقة ويمثل A-band الشريط A المنطقة المعتمة، وتتكون من خيوط سميكة ودقيقة ويتوسطها منطقة مضيئة تسمى H-zone وتنتج هذه المنطقة نتيجة الفراغ لعدم وجود لليفات دقيقة، ويتوسط المنطقة خط معتم يعرف بخط م M-line، ويمثل شبكة اتصال الخيوط السميكة ويمثل الشريط I المنطقة، ويتوسطها صفيحة Z، التي تربط الشريط I من الجانبين وعند أخذ مقطع بالشريط A-band ليوضح العلاقة بين الخيوط الدقيقة والسميكة نجد أن كل خيط سميك محاط بعدد ٦ خيوط دقيقة «اكتين» وكل خيط دقيقة محاط بعدد ٣ خيوط سميكة «مايوسين» وأن عدد الخيوط الدقيقة «actin»، ضعف الخيوط السميكة.

ملخص الانقباض العضلي:

١. تسبب الاستثارة سريان الفعل الكامن في العصب.
٢. مما يثير إفراز الأستيل كولين.
٣. يتخلل الأستيل كولين من الصفيحة الانتهائية الحركية، ويتصل بمستقبلات في الألياف العضلية.
٤. يحدث تبادل لأيونات الصوديوم للداخل والبوتاسيوم للخارج.
٥. يخرج الكالسيوم من الأكياس الجانبية عبر الأنابيب المستعرضة والطويلة ليتصل بالتروبونين.
٦. يسحب التروبونين التروبومايوسين للجانب كاشفًا النقط النشطة على الأكتين.
٧. تتصل الجسور المتصالبة بالأكتين وتنطلق الطاقة.
٨. تتقارب الخيوط الدقيقة إلى أن تتصل ببعضها وهنا يحدث الانقباض العضلي.
٩. ويتم الانبساط العضلي بخروج الكالسيوم من التروبونين وتباعد الخيوط الدقيقة وترك الجسور المتصالبة للأكتين.



صورة (٧٣)

منظم البروتين والكالسيوم

هناك مركبات بروتينية تقوم بدور هام في عملية انقباض وانبساط العضلات:

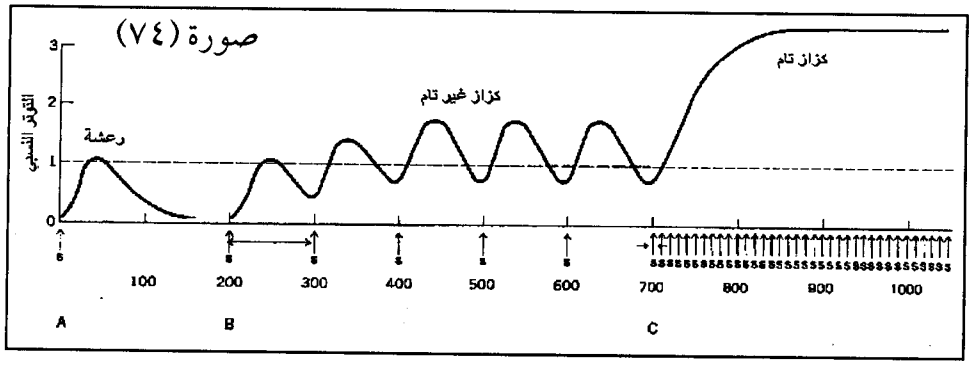
١ - التروبونين.

٢ - التروبومايوسين.

والتروبومايوسين هو وحدة عصوية الشكل «شريط» Rod بطول ٧ وحدات من الاكتين فوق النقط النشطة للاكتين، وتمنع الجسور المتصالبة من الاتصال بهذه النقط النشطة.

والتروبونين **Troponin** كروي الشكل ويتصل بكل من التروبومايوسين والاكتين والكالسيوم، منقسم لثلاثة أجزاء، والكالسيوم يتصل بالتروبونين مما يسبب تقيد في شكل التربوني الذي بدوره يسحب التروبومايوسين للجانب مما يتيح كشف النقط النشطة للاكتين للاتصال بالجسور المتصالبة للميوسين.

صورة (٧٤)



أنواع الألياف العضلية الهيكلية

على الرغم من تشابهه التركيب العام للألياف العضلية الهيكلية، إلا أنه يمكن تقسيمها من حيث السرعة القصوى للتقلص ونوعيته، وكذلك كمية الأنزيمات التي تحتويها خاصة الأنزيمات المنتجة لثالث أدينوزين الفوسفات.

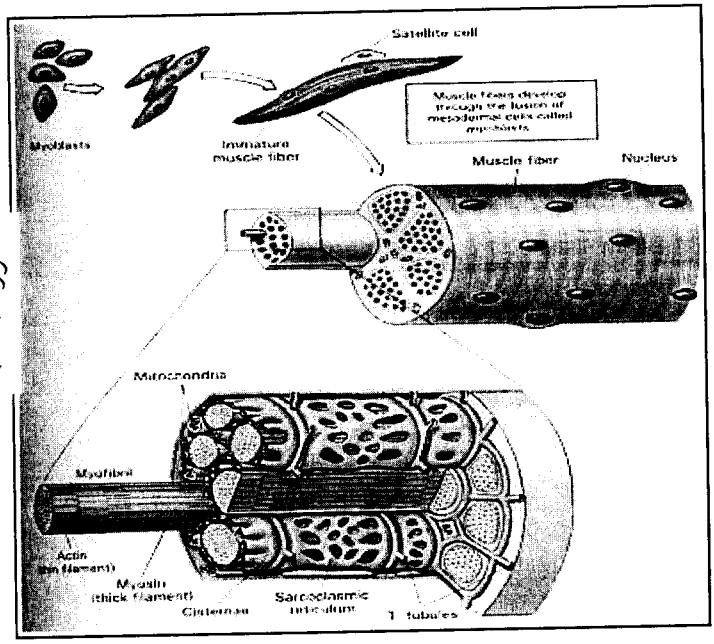
١. **بالنسبة للسرعة القصوى للتقلص**: فإن محتوى الميوسين في هذه الألياف تختلف من حيث أقصى نسبة انشطار لثالث فوسفات الأدينوزين الذي يحدد بدوره

سرعة عمل الجسور المتصالبة، وبالتالي السرعة القصوى ويتواجد بالميوسين أعلى نشاط لأنزيم A Tpase في الألياف السريعة، بينما المايوسين ذو نشاط أنزيمي منخفض في الألياف البطيئة.

٢. **الفارق الرئيس الثاني** يشمل نوع الأنزيمات التي تكون ثالث فوسفات الأدينوزين ATP، فالبعض يحتوي على كمية كبيرة من الميتوكوندريا؛ لذا فإنها ذات قدرة عالية على الأكسدة الفوسفورية.

٣. **كمية الدم الواردة للألياف** ووجود أوكسجين ووحدات الوقود fuel، وتحتوي كذلك على الميوجلوبين وهي تساعد على زيادة نفاذ الأوكسجين للألياف وتعتبر مخزن للأوكسجين داخل الألياف.

٤. **يحتوي البعض الآخر من الألياف على قليل من الميتوكوندريا**، ولكنها تحتوي على تركيز عالي من أنزيم تحليل السكر ومخزون عالٍ من الجليكوجين، وتتخصص هذه الألياف بإنتاج ثالث فوسفات الأدينوزين تحليل السكر anaer- obic glycolysis اللاهوائيًّا، ويحيطها شعيرات دموية قليلة، كما تحتوي على قليل من الميوجلوبين. والألياف المؤكسدة التي تحتوي على كمية كبيرة من الميوجلوبين لونها أحمر وتسمى الألياف العضلية البيضاء.



صورة (٧٥)

ويمكن تمييز نوعين من الألياف العضلية الهيكلية بناء على:

١- نشاط إنزيم A Tpase وبالميوسين.

٢- القدرة على تكوين ثالث فوسفات الأدينوزين.

أ- الألياف المؤكسدة البطيئة «عامة الجسم، حمراء».

١- نشاط إنزيم A Tpase بالميوسين.

٢- القدرة على الأكسدة مرتفعة.

ب- الألياف المؤكسدة السريعة Oxidative fast fibars.

ملخص عام لأنواع الألياف العضلية الهيكلية

1- سريعة التقلص = بطيء		سريع
1- قوة التقلص = ضعيف	سريع	قوي
1- نسبة التعب = قليلة		كثيرة
2- نشاط إنزيم = منخفض		
A Tpase بالميوسين	مرتفع	مرتفع
3- مصدر إنتاج ثالث فوسفات الأدينوزين		
= الأكسدة الفوسفورية	الأكسدة الفوسفورية	
4- نشاط إنزيمات = منخفض	متوسط	تحليل السكر اللاهوائية
5- عدد الميتوكوندريا = كثيرة	كثيرة	مرتفع
6- الشعيرات الدموية = كثيرة	كثيرة	قليلة
7- محتوى الميوجلوبين = مرتفع	مرتفع	قليلة
8- محتوى الجليكوجين = منخفض	متوسط	منخفض
9- محيط الليفة = صغير	متوسط	مرتفع
10- معدل التعب = بطيء	متوسط	كبير
		سريع

أنواع التقلص العضلي Types of Muscle contraction:

من الضروري معرفة بعض التعريفات وصولًا لتحديد الأنواع المختلفة.

التوتر العضلي Tension: هو القوة الناتجة عن انقباض عضلة ضد ثقل ما.

الثقل Load: القوة المحدثة بواسطة شيء ما على العضلة، ويعتبر التوتر والثقل قوتين متضادتين.

التقلص Contraction: هو حدوث عملية التوتر بالعضلة، وتعتمد حدوث الحركة من عدمها للعضلات على حجم الثقل والتوتر الذي تحدثه العضلة، ولتحريك الثقل يجب أن يكون التوتر بالعضلة أكبر من هذا الثقل.

والتقلص إذا كان مصحوبًا بتوتر بدون تغير في طول العضلة يسمى التقلص لا تقصري «طول ثابت»، ويحدث هذا النوع عند محاولة رفع ثقل معين لا يقوى الفرد على تحريكه أو دفع جدار حائط، وفي المجال الرياضي كالجمباز أو المصارعة.

بينما إذا كان الثقل وطول العضلة متغيرًا يسمى التقلص اسوى التوتر، «توتر ثابت» ويحدث هذا النوع عند القدرة على تحريك ثقل.

صورة (٧٦)

١. يلاحظ أن التقلص اللاتقصري يصحبه سرعة التعب، وذلك لقلة الأوكسجين المتجه للعضلة مقارنة بسرعة التعب التقلصي اسوى التوتر والتغيرات الكيمائية والكهربائية متشابهة في نوعي التقلص؛ بمعنى أن الجسور المتصالبة تنشط منتجة قوة على الخيوط الدقيقة.

٢. وفي التقلص إسوى التوتر فإن الخيوط الدقيقة تنزلق على الخيوط السميكة مما ينتج عنه قصر العضلة «Isotonic».

Isometric وفي التقلص لا تقصري فإن الخيوط الدقيقة والسميكة لا ينزلقان ويبقى طول العضلة ثابت مع ازدياد التوتر.

وعند تسجيل انقباض إسوى التوتر متحرك فإن الوقت اللازم للانقباض والارتخاء قصير «١٠٠ مللي ثانية» وفترة الكمون طويلة «١٥ مللي ثانية»، بينما في تسجيل انقباض لا تقصري ثابت فإن الوقت اللازم للانقباض والارتخاء طويل «١٥٠ مللي ثانية» وفترة الكمون قصيرة «٢-٣ مللي ثانية».

وتتوقف سرعة الانقباض «الزمن» ومدى الانقباض «القوة» على وزن الثقل المقابل للعضلة المتحركة

ففي الوزن الثقيل	متوسط	ضعيف
السرعة «١» بطيء	متوسط	ضعيف
المدى(٢» منخفض	متوسط	ضعيف

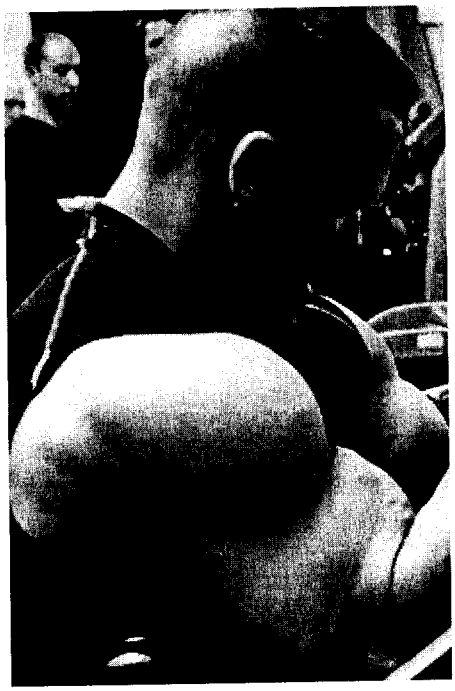
التقلص المتراكز Concentric contraction (المركزي):

ويطلق عليه أيضًا الانقباض الديناميكي، باعتبار أن العضلة تقصر في طولها في اتجاه مركزها، وفي هذا النوع من الانقباض لا تظهر العضلة القوة العظمى لها على مدى مسار حركة المفصل، ومثال على ذلك أن العضلة ذات الرأسين Biceps لا تظهر قوتها العظمى إلا في الوضع، الذي يكون عليه الساعد مع العضلة في زاوية بين ١١٥- ١٢٠ درجة، وتكون أقل قوة حينما تصبح هذه الزاوية ٣٠ درجة مثلًا.

التقلص اللامتراكز Contraction Eccentric:

وهو عكس التقلص التوتري «الإيزوتوني»، حيث تطول العضلة أثناء زيادة توترها، وأفضل مثال لهذا الانقباض عند أداء حركة نزول الثقل إلى الأرض، وكذلك النزول على منحني هابط أو عند الهبوط من السلم، وعند فرد الذراع وهبوط الجسم لأسفل عند الشد على العضلة.

صورة (٧٧)



صورة (٧٨)