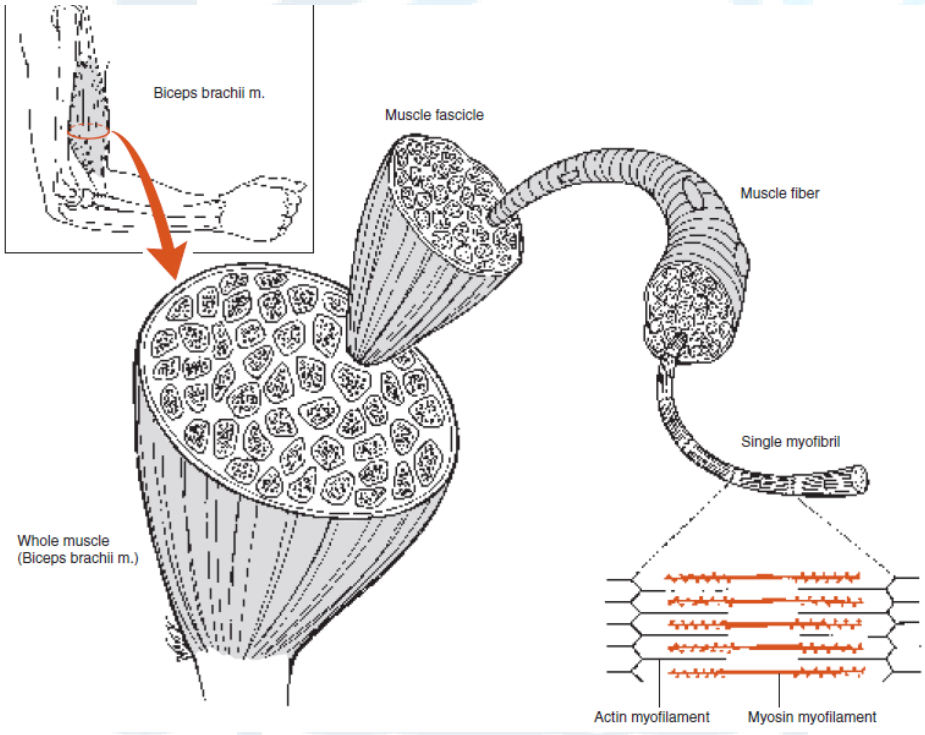
الميكانيك الحيوي للعضلاتعنوان المحاضرة

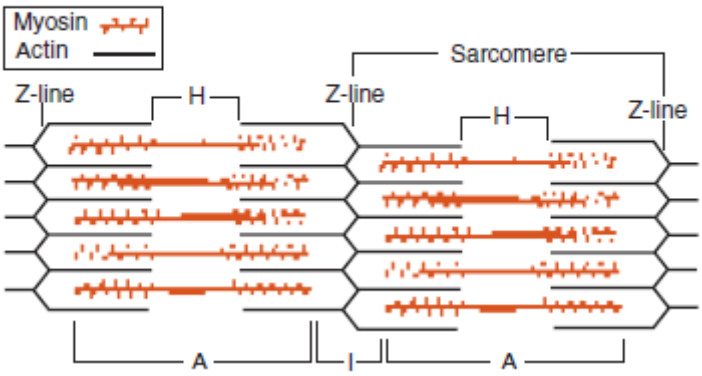
الفقرات الرئيسية (نوع الخط Sakkal majalla وحجم الخط Bold 16)

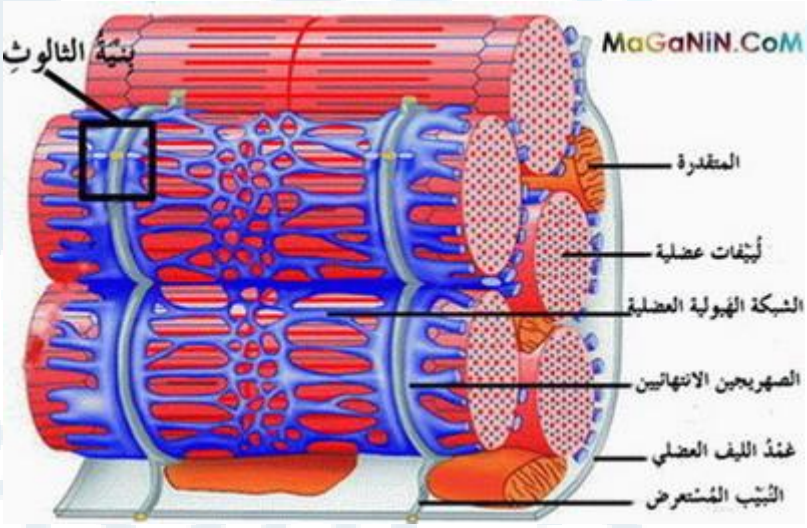
نص المحاضرة (نوع الخط Sakkal majalla وحجم الخط 14)

تركيب و انقباض العضلة الهيكلية (المخططة)



MANARA UNIVERSITY





الجهاز العضلي هو المسؤول عن حركة الجسم البشري. وهناك حوالي 700 عضلة مخططة أو هيكلية مسماة ملتصقة بعظام الهيكل العظمي وتشكل ما يقرب من نصف وزن جسم الشخص. وكل عضلة من هذه العضلات لها منشأ ومرتكز في العظام وكل عضلة هي وحدة منفصلة مستقلة مصنوعة من النسيج العضلي ولها الأوعية الدموية والأوتار والأعصاب الخاصة بها، وتنتظم العضلات في تجمعات تساعد أو تعاكس أو تؤازر بعضها بحيث تنتج وتعدل الحركة، وتقوم العضلة الهيكلية (المخططة) بتحويل التدَفُّع الكهربي المُرْسل من عصبون حركي سفلي إلى قوة ميكانيكية تظهرُ في انقباضِ العضلة، حيث يؤدّي وصولُ جهد الفعل إلى تحريرِ الناقل العصبي أستيل كولين الذي يعمل على مُسْتقبلاته النيكوتينية الموجودةِ على الغشاء خلف المشبكي، وبالتالي تحدثُ إزالةُ استقطاب لغشاءِ الليفِ العضلي، وتؤدي إزالةُ الاستقطاب إلى اندفاقِ الكالسيوم إلى داخل الليف العضلي مما يُسَبِّبُ انقباضَ العضلة، وحصول الحركة المستهدفة.

بنية العضلة الهيكلية:

تتكون العضلةُ الهيكلية (المخططة) من مجموعات من الليف العضلي، والليفُ العضلي الواحدُ هو خلية طويلةٌ متعددةُ الأنوية ، وتحوي لُيَيْفات عضلية كل منها مكونةٌ من مجموعة من الخيوطِ هي الخيوطُ الغليظةُ والخيوط الرفيعةُ التي تتراكبُ بعض الشيء لتعطي هذا النوعَ من العضلاتِ شكلهُ المُخَطّط، وتحاطُ اللُّيَيْفةُ العضليةُ بغشاء يسمى غمْدُ الليف العضلي Sarcolemma، ويَنْغَلِفُ هذا الغمدُ بين الليفات مكونا النُبَيْب المُسْتعرض أو النُبَيْب T-tubule Transvers or T ، وهو بِنْيَةٌ مختلفةٌ عن الشبكة الهَيولية العضلية Reticulum Sarcoplasmic التي تُغلف اللُّيَيْفات العضليةِ وتعتبرُ مخزنا (داخل خلوي Intracellular) للكالسيوم، وغمْدُ الليف العضلي هو بنيةٌ مركبةٌ وقد اكْتُشِفَ حديثا أن الشذوذاتِ في بعض مكوناتِهِ هي سببُ بعضِ أنواعِ الحَتَلِ العضلي الوراثية Dystrophies Muscular Inherited.

يتكون الخيطُ الغليظُ من بروتينِ الميوسين ويقعُ في مرْكَزِ القُسيم العضلي Sarcomere، ويتكونُ الميُوسين من سِلْسِلتين ثقيلتينِ هما من بروتين الميروميسين ويحتوي الميروميسين على أطراف هي مسؤولةٌ عن تكسيرِ الأدينوسين ثلاثي الفوسفاتِ في نهايةِ ضربةِ طاقةِ Stroke Power تشكيلِ الجسر المتقاطع Cross Formation bridge، وهي مهمةٌ أيضا في عمليةِ حركةِ رأسِ الميوسين.

وبسبب خواصِ الميروميسينِ فإنّ خيوطَ الميوسين تلقائيا تَتَحَزَّمُ سويا بحيثُ تكونُ الرؤوسُ ا متجهة للخارج باتجاهِ خيوطِ الأكتين، وهي بالتالي تشكِّلُ الجزء الرئيسي من الجسر المتقاطعِ مع الأكتين.

ويتكوَّنُ الخيطُ الرفيعُ من الأكتين والتروبوميوسين والتروبونين، والأخير يعَدِّل انقباضَ العضلةِ بإمساكِها التروبوميوسين في مكانهِ لمنعِ رأس الميوسين من الارتباطِ بالأكتين، وتؤدّي إزالةُ الاستقطابِ إلى اندفاقِ الكالسيوم الذي يرتبطُ بالتروبونين مسببا تغيُّرا بِنْيَوِيّا في الخيط الرفيع، بحيث يتركُ التروبوميوسين مكانَ ارتباطِ الميوسين على الأكتين، وبالتالي فإن التروبوميوسين والتروبونين يُعَدِّلانِ انقباضَ العضلاتِ من خلال عملية تَقْييد Block Stearic.

انقباض العضلة الهيكلية (المخططة):

يؤدي وصولُ جهد الفعل إلى المَوصل العصبي العضلي (المشبك) إلى اندفاق الكالسيوم وتحرير حويصلات تحوي الأستيل كولين والذي يرتبطُ بمستقبلاته النيكتونية على غشاءِ الليف العضلي مزيلا استقطابَه ومحررا الكالسيوم من الشبكة الهَيولية العضلية، ويؤدي ذلك إلى إزالة مركب البروتين الرابطِ للكالسيوم (في مركب التروبوميوسين) وإلغاءِ إحصاره وإبعاد التروبونين عن الأكتين المكوِّن الرئيسي للخيوط الرفيعة، وإلغاء هذا الإحصار Block و يسمحُ للميوسين -المكون الرئيسي للخيوط الغليظة- بأن يرتبط بالأكتين عبر الجسور المتقاطعة Cross bridges، ثم تُسْحَبُ الخيوطُ العضلية منزلقة على بعضها البعض، وتكسّر الجسورَ المتقاطعةَ عند نهايةِ ضربةِ الطاقةِ Stroke Power بتحليل الأدينوسين ثلاثي الفوسفات، ويمكنُ أن تعادَ دورةُ تشكيلِ الجسور المتقاطعة ثم تكسيرها وبالتالي تنقبضُ العضلة بما يشبه السقَّاطة Ratchet-like Fashion، وتُسَمَّى هذه العمليةُ كلها: فرضيةَ الخيوطِ المنزلقةِ لانقباضِ العضلة Hypothesis Filament Sliding.

و يعتمد توتر الانكماش على عدد الجسور التي تشكلت بين خيوط الأكتين والميوسين العضلي. رقم الجسور المتقاطعة التي تم تشكيلها لا تعتمد فقط على الوفرة من جزيئات الأكتين والميوسين ، ولكن أيضا على تردد المنبه لتشكيل الجسور.

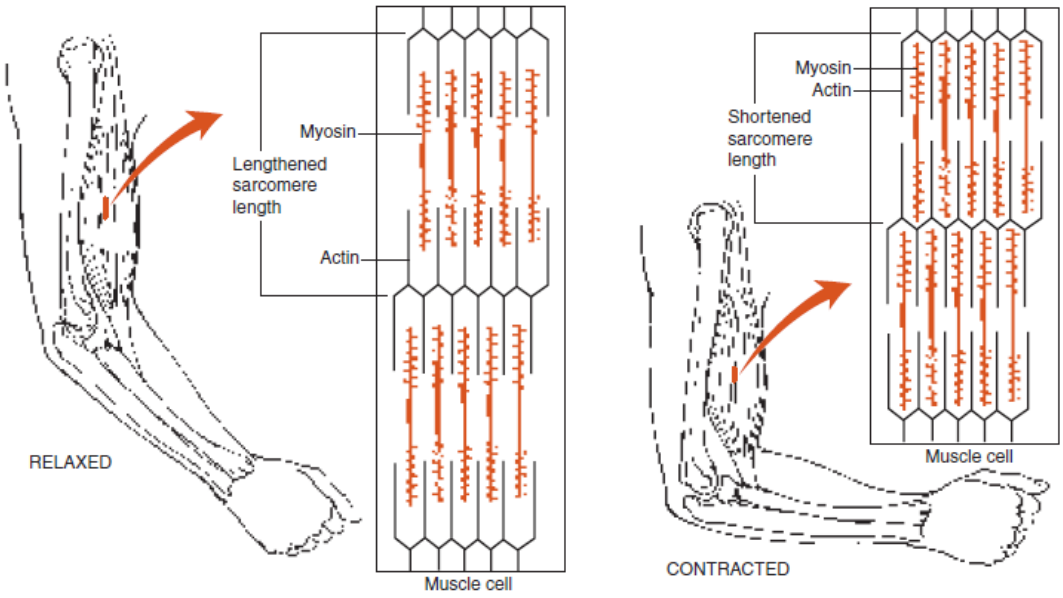
ويمكننا ترتيب أحداث انقباض العضلة كما يلي:

• المرحلة 1: في حالة الراحةِ نجدُ أن مركب التروبونين يُمْسِكُ بالتروبوميوسين في وضع يمنعُ الميوسين من الارتباطِ بالأكتين (تقييد إستيري)

• المرحلة 2: يؤدي وصولُ جهد الفعل إلى الموصل العصبي العضلي إلى توليدِ جهد فعل خلف مشبكي ينتقلُ عبر انْغِلافِ الغشاء العضلي المُتَخصِّصِ المسمّى بالنُبَيْب المستعرض ويقوم هذا النُبيب بنقل جهد الفعل عبرَ العضلةِ كلها منشطا كل أليافها، ويقعُ النُبَيْبُ المُسْتَعْرض مجاورا للصهريجين الانتهائيين للشبكة الهَيولية العضلية في بِنية تسمى بالثالوث، أي أن كل نُبيب مستعرض يقعُ بين صهريجين انتهائيين من الشبكة الهَيولية العضلية والتي تحتوي على تركيزات عالية من أيوناتِ الكالسيوم، ويؤدي وصولُ جهد الفعل إلى الثالوثِ إلى تحريرِ الكالسيوم من الصهاريج الانتهائيةِ تبعا لميله الكهروكيماوي باتجاه الليفات العضلية، ثم يلتحمُ الكالسيوم بمركبِ

التروبونين وهو ما يؤدي إلى تغييرِ وضع التروبوميوسين بحيث تستطيعُ الرأس الميوسينية أن ترتبطَ مع الأكتين مشكلة الجسر المتقاطع.

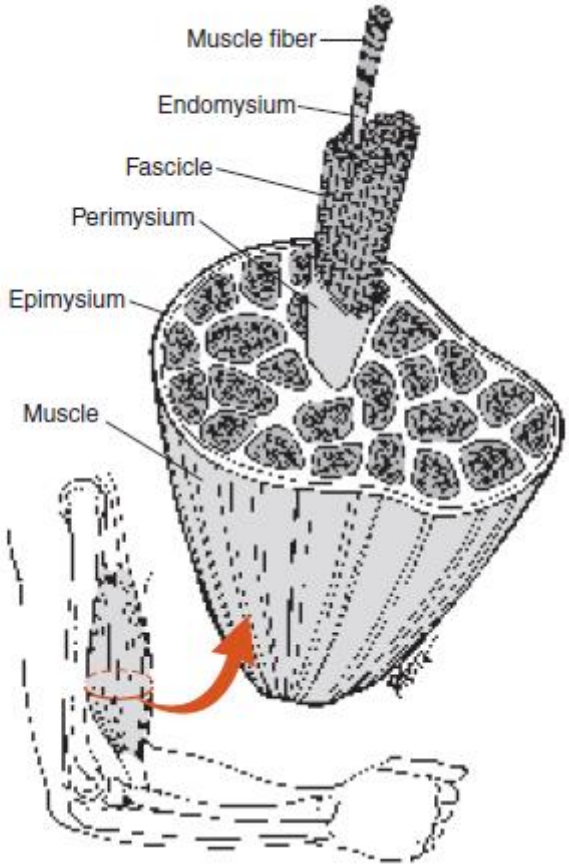
• المرحلة 3: بعد ارتباطِ الميوسين بالأكتين يحدثُ تأخيرٌ قبل أن يتنامَى التوتُّرُ في الجسر المتقاطع، وهذا التوتُّرُ يسحبُ ويُدَوِّرُ الأكتين على الميوسين ويسبّبُ هذا انقباضَ العضلة، وفي نهايةِ ضربةِ الطاقةِ تلك تَفْصل الجسورُ المتقاطعة الميوسين من الأكتين بواسطةِ الطاقة الناتجةِ عن تحليل الأدينوسين ثلاثي الفوسفات وهي عمليةٌ معتمدةٌ على الكالسيوم أيضا، ويمكنُ أن تعادَ الدورةُ كلها وعمليةُ تشكيلِ الجسورِ المتقاطعةِ وحركةِ الخيوط تلك تُسَمّى فرضيةَ الخيوطِ المُنزلقةِ لانقباض العضلة، وذلك لأن نوعيّ الخيوطِ ينزلقانِ كل منهما على الآخر بما يشبه حركةَ مُسَنَّنَةِ السقَّاطة مع تكرار الدورة، وأما الكالسيومُ المُحَرّر من الصهاريج الانتهائية للشبكة الهَيولية العضلية والذي يجعلُ تشكيلَ وتكسيرَ الجسور المتقاطعة ممكنا، فيتمُّ استردادهُ في عمليةِ استرداد نشطة إلى داخل الشبكة الهَيولية العضلية بواسطة مضخَّةِ كالسيوم معينة.



النسيج الضام داخل العضلة:

يتكون بطن العضلات من الخلايا العضلية أو الألياف والنسيج الضام الذي يربط الخلايا ببعضها. الطبقة الخارجية من الغلاف الضام للعضلة تقسم إلى أقسام تحيط بالحزم والألياف العضلية فتكون البنية للنسيج الضام كشبكة قوية تحيط بالحزم العضلية والألياف وترتبط في طرفي العضلة بالأوتار العضلية بشكل تداخلي

قوي كمية النسيج الضام داخل العضلات و حجم الأوتار المتصلة يختلف اختلافا كبيرا في العضلات. و كمية الأنسجة الضامة الموجودة داخل العضلة تؤثر على الخصائص الميكانيكية لتلك العضلات ويساعد على تفسير الاستجابات الميكانيكية المتنوعة للعضلات الفردية.



أنواع الألياف العضلية:

هناك معياران يجب مراعاتهما عند تصنيف أنواع ألياف العضلات:

مدى سرعة انقباض بعض الألياف بالنسبة إلى أنواع أخرى ، وكيف تنتج الألياف ATP.

باستخدام هذه المعايير ، هناك ثلاثة أنواع رئيسية من ألياف العضلات والهيكل العظمي.

- الألياف البطيئة المؤكسدة (SO) أو(النوع I) تتقلص ببطء نسبياً وتستخدم التنفس الهوائي (الأكسجين والجلوكوز) لإنتاج ATP.

- الألياف السريعة المؤكسدة (FO) (النوع IIA) تسبب تقلصات سريعة وتستخدم التنفس الهوائي بشكل أساسي ، ولكن لأنها قد تتحول إلى التنفس اللاهوائي (تحلل السكر) ، يمكن أن تتعب بسرعة أكبر من ألياف SO.

- الألياف السريعة محللة للكلوكوجين (FG) (النوع IIB) و تمتاز بانقباضات سريعة وتستخدم في الأساس التحلل اللاهوائي. الألياف FG تتعب بسرعة أكبر من غيرها. تحتوي معظم العضلات الهيكلية في الإنسان على الثلاثة أنواع ، وإن كانت بنسب متفاوتة.

تعتمد سرعة الانكماش على مدى سرعة تحلل ATPase للميوسين ATP لإنتاج الحركة. تعمل الألياف السريعة على تحلل ATP بمعدل أسرع مرتين تقريبًا من الألياف البطيئة ، مما يؤدي إلى ركوب جسر متقاطع أسرع بكثير (والذي يسحب الخيوط الرقيقة باتجاه المركز بمعدل أسرع). يحدد المسار الأيضي الرئيسي الذي تستخدمه ألياف العضلات ما إذا كان يتم تصنيف الألياف على أنها مؤكسدة أو تحلل غليكوجيني. إذا كانت الألياف تنتج في المقام الأول ATP من خلال المسارات الهوائية ، فهي مؤكسدة. يمكن إنتاج المزيد من الـ ATP خلال كل دورة أيضية ، مما يجعل الألياف أكثر مقاومة للتعب. تخلق ألياف الجليكوجين ATP بشكل أساسي من خلال تحلل اللاهوائي ، والذي ينتج ATP أقل في كل دورة. ونتيجة لذلك ، تتعب ألياف وتستهلك سكر الدم بمعدل أسرع.

تحتوي الألياف المؤكسدة على العديد من الميتوكوندريا أكثر من الألياف المحللة ، لأن الأيض الهوائي ، الذي يستخدم الأكسجين (O2) في المسار الأيضي ، يحدث في الميتوكوندريا. تمتلك ألياف SO عددًا كبيرًا من الميتوكوندريا وقادرة على التقلص لفترات أطول بسبب كمية ATP الكبيرة التي يمكن أن تنتجها.

لكن لها قطر صغير نسبيًا ولا ينتج عنها توتر كبير.

يتم تزويد الألياف SO على نطاق واسع بالشعيرات الدموية لتزويد O2 من خلايا الدم الحمراء في مجرى الدم.

تمتلك ألياف SO أيضًا myoglobin ، وهو جزيء يحمل O2 يشبه الهيموغلوبين الذي يحمل O2 في خلايا الدم الحمراء. يقوم الميوغلوبين بتخزين بعض من O2 اللازم داخل الألياف نفسها (ويعطي ألياف SO لونها الأحمر).

كل هذه الميزات تسمح لألياف SO بإنتاج كميات كبيرة من ATP ، والتي يمكن أن تحافظ على نشاط العضلات دون تعب لفترة طويلة من الزمن.

حقيقة أن ألياف SO يمكن أن تعمل لفترات طويلة دون تعب مما يجعلها مفيدة في الحفاظ على الموقف ، وإنتاج تقلصات متساوي القياس (الطول) ، وتثبيت العظام والمفاصل ، وجعل حركات صغيرة تحدث في كثير من الأحيان

ولكن لا تتطلب كميات كبيرة من الطاقة. لا ينتج عنها توتر شديد ، وبالتالي لا يتم استخدامه في حركات قوية وسريعة تتطلب كميات كبيرة من الطاقة وركوب الدراجات السريعة عبر الجسر.

تسمى ألياف FO أحيانًا بالألياف الوسيطة لأنها تمتلك خصائص متوسطة بين الألياف السريعة والألياف البطيئة. أنها تنتج ATP بسرعة نسبيا ، وبسرعة أكبر من الألياف SO ، وبالتالي يمكن أن تنتج كميات عالية نسبيا من التوتر. أنها مؤكسدة لأنها تنتج ATP الهوائية ، وتمتلك كميات كبيرة من الميتوكوندريا ، ولا تعب بسرعة. ومع ذلك ، لا تمتلك ألياف FO ميوغلوبين كبير ، مما يعطيها لونًا أفتح من ألياف SO الحمراء. تُستخدم ألياف FO أساسًا في الحركات ، مثل المشي ، التي تتطلب طاقة أكثر من التحكم في الوضع ولكن تتطلب طاقة أقل من حركة متفجرة ، مثل الركض. ألياف FO مفيدة لهذا النوع من الحركة لأنها تنتج توتراً أكثر من ألياف SO ولكنها أكثر مقاومة للتعب من ألياف FG.

تستخدم ألياف FG بشكل أساسي تحلل اللاهوائي كمصدر للطاقة لديها قطر كبير وتمتلك كميات كبيرة من الجليكوجين ، والذي يحلل لتوليد ATP بسرعة لإنتاج مستويات عالية من التوتر (التقلص). لأنها لا تستخدم في المقام الأول الأيض الهوائي ، فإنها لا تمتلك أعدادًا كبيرة من الميتوكوندريا أو كميات كبيرة من الميوغلوبين وبالتالي لها لون أبيض. تُستخدم ألياف FG لإنتاج انقباضات سريعة وقوية لإجراء حركات سريعة وقوية. تعب هذه الألياف بسرعة ، مما يسمح باستخدامها لفترات قصيرة فقط. معظم العضلات تمتلك مزيجا من كل نوع من الألياف. يتم تحديد نوع الألياف السائدة في العضلات من خلال الوظيفة الأساسية للعضلة.

Skeletal Muscle Fiber Characteristics

CHARACTERISTIC	Type I Slow-Twitch Oxidative (SO)	TYPE IIA Fast-Twitch Oxidative Glycolytic (FOG)	Type IIB Fast-Twitch Glycolytic (FG)
Contraction Speed	slow	fast	fast
Fatigue rate	slow	intermediate	fast
Diameter	small	intermediate	large
ATPase concentration	low	high	high
Mitochondrial concentration	high	high	low
Glycolytic enzyme concentration	low	intermediate	high

أنواع التقلص العضلي:

المتقاصر Concentric: يحدث فيه قصر لطول العضلة أثناء العمل ويكون متساوي التوتر(isotonic) في حال عدم المقاومة أو متزايد التوتر hypertonic في حال التقلص ضد مقاومة أو بتنبيه عالي وبكل الحالات تكون المقاومة أقل من قوة تقلص العضلة.

متطاول Eccentric: يحدث ان تكون قوة التقلص أقل من المقاومة المطبقة على العضلة مما يجعلها تتطاول تحت تأثيره رغم التقلص.

متساوي الطول Isometric: وهنا لا يحدث تغير في طول العضلة أثناء التقلص العضلي وبالتالي تتساوى المقاومة المطبقة مع القوة.

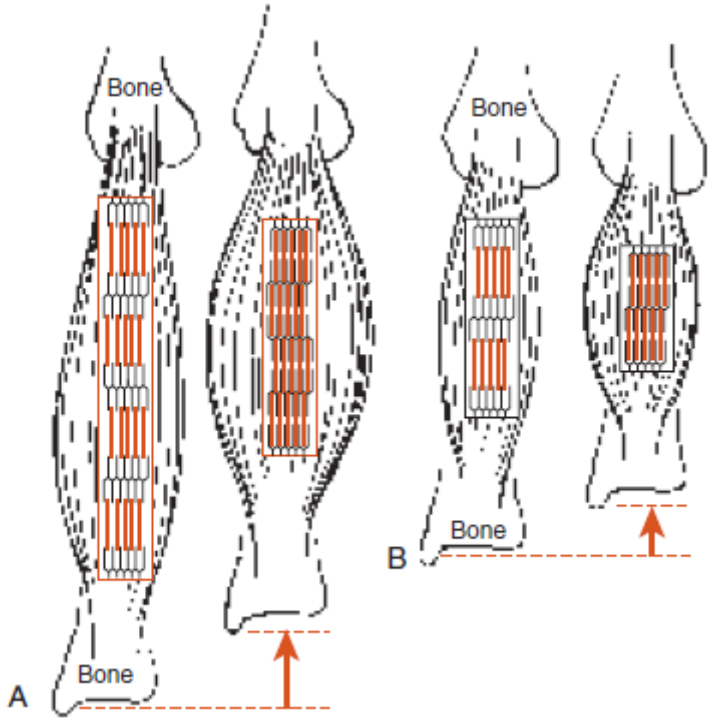
العوامل التي تؤثرعلى القدرة على إنتاج الحركة في العضلات:

الوظيفة الأساسية للعضلة هي إنتاج حركة المفاصل. المدى السلبي للحركة (ROM) المتاح عند المفصل يعتمد على شكل الأسطح المفصلية وكذلك على الأنسجة الرخوة المحيطة. لكن ROM الفاعل للمفصل يعتمد على قدرة العضلات على سحب الطرف من خلال ROM متاح.

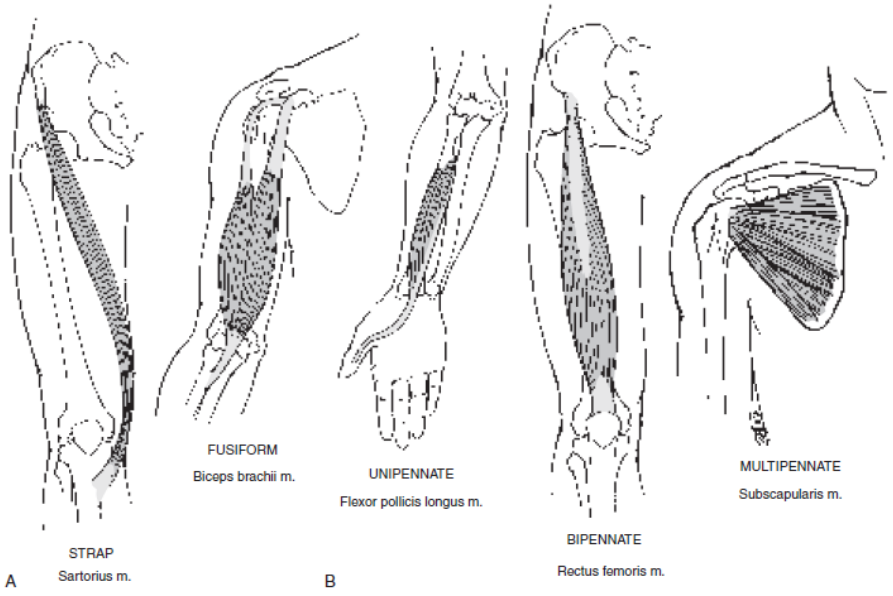
المفاصل الكبيرة تتطلب عضلات قادرة على تحريك مشترك عبر النطاق بأكمله. لكن مثل هذه العضلات غير ضروري في المفاصل ذات الحركة الأصغر. ويؤثر عاملان في القدرة العضلية لإنتاج الحركة وهما:

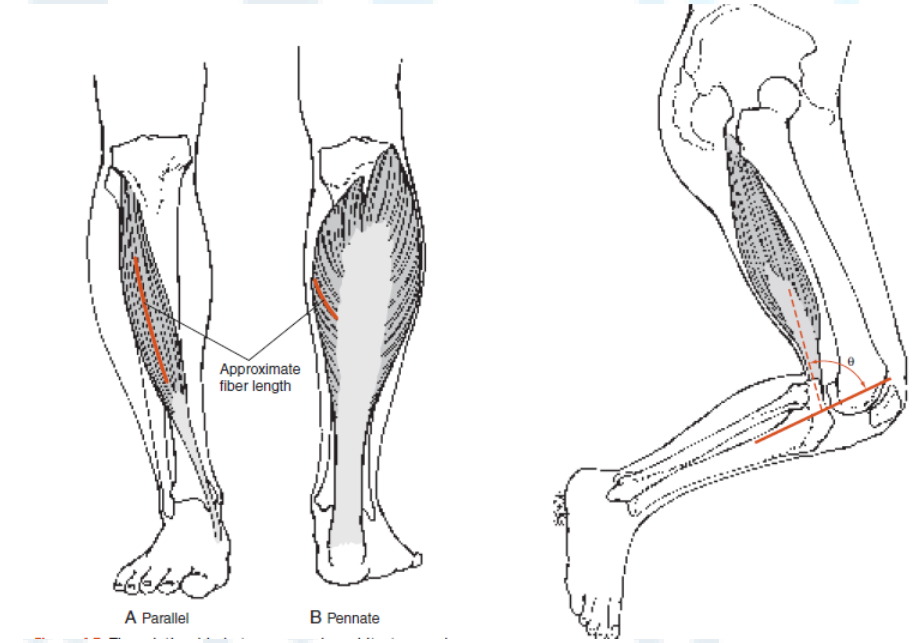
- طول الألياف المكونة للعضلة.
- طول ذراع العضلة.

ويعتمد قصر العضلة على عدد الساركومير المرتب بشكل تسلسلي في العضلة يمكن للألياف تقصير ما يقرب من 50 إلى 60 ٪ من طولها، على الرغم أن هناك بعض الدلائل على أن الألياف تُظهر تقصيرًا متنوعًا.

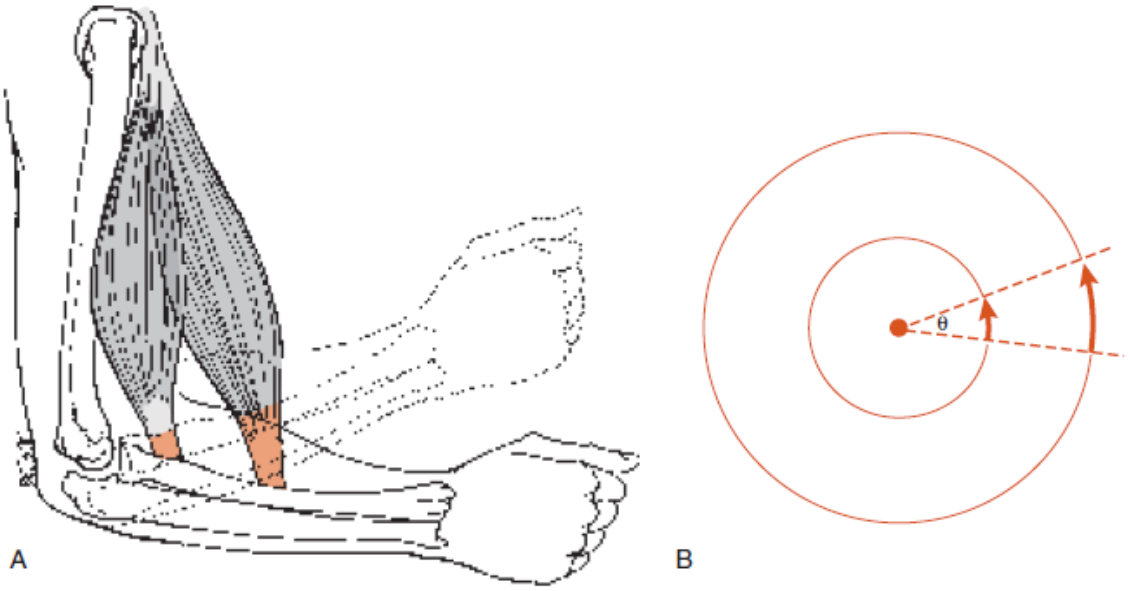


هناك تباين واسع في أطوال الألياف الموجودة في جسم الإنسان ، تتراوح من بضعة سنتيمترات إلى ما يقرب من نصف متر. و طول الألياف داخل العضلات هي تشكيل من الهندسة المعمارية في تلك العضلات بدلاً من الطول الإجمالي للعضلة. على الرغم من أن جميع العضلات الهيكلية تتكون من ألياف العضلات ، يمكن أن يختلف ترتيب هذه الألياف بشكل كبير بين العضلات. هذا الترتيب من الألياف له آثار ملحوظة على قدرة العضلات على إنتاج الحركة وتوليد القوة. ترتيبات الألياف لها أسماء مختلفة ولكنها تقع في اثنين الفئات الرئيسية ، المتوازية والمسندة المائلة. بشكل عام ، تكون الألياف داخل العضلات المتوازية تقريبًا مركبة بالتوازي مع طول العضلة بأكملها. و تحتوي على أوتار عند طرفي العضلة وتتشكل من توضع طولاني للألياف العضلية أما العضلات المائلة فتحتوي وتر واحد وممكن أكثر ترتبط فيه الألياف بشكر مروحي ومائل وطول الالياف أقصر من النوع المتوازي ويتغير الجهد العضلي حسب الالياف المتقلصة وهناك عدة أنواع منها مثل الوحيدة unipennate أو الثنائية bipennate حسب عدد الأوتار المخترقة للعضلة. وبالتالي فإن قدرة العضلات الطولانية المتوازية على التقصير أكبر من المائلة.





كذلك فإن لحظة الحركة (العزم) تلعب دورا مهما في قدرة العضلة على الحركة يعرّف ذراع العزم العضلي على أنه العمودي المسافة بين العضلة ونقطة الدوران. هذا الذراع يعتمد على موقع ارتكاز العضلات على العظام والزاوية بينها وبين خط شد العضلة و تُعرف هذه الزاوية بزاوية التطبيق.



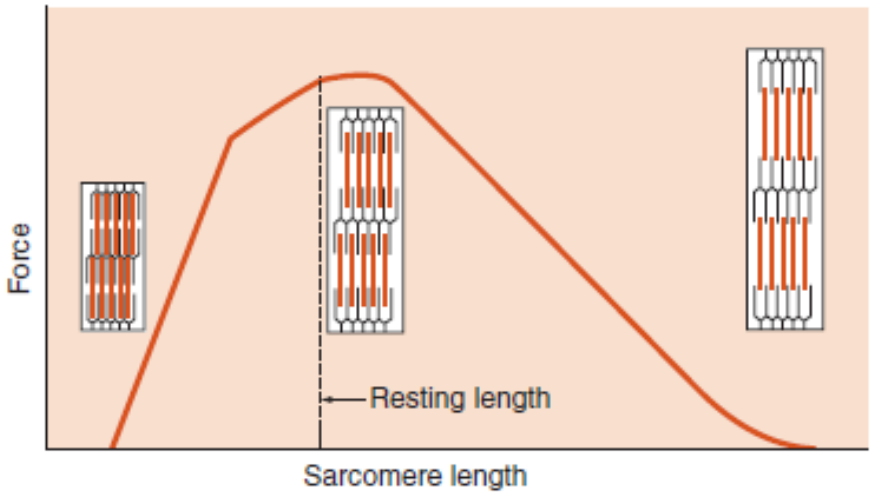
العوامل المؤثرة على القوة العضلية:

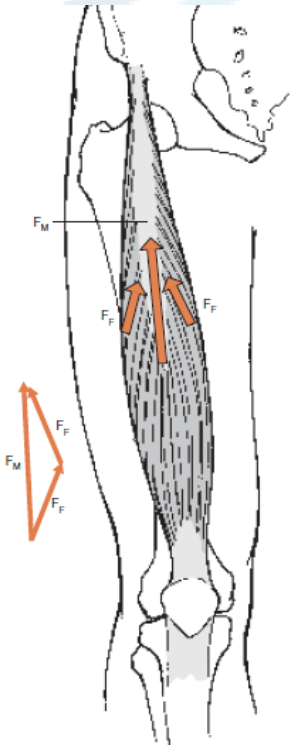
1. حجم العضلة:

كلما زاد المقطع العرضي للعضلة زادت القوة المنتجة من التقلص العضلي وذلك متعلق بعدد الليفات الموجودة في المقطع (الأكتين والميوسين) وحجم العضلة وثخانة القطر هو أهم عنصر في انتاج القوة العضلية. ويؤخذ المقطع في أكثر المناطق ثخانة وعمودي على اتجاه الألياف العضلية ويختلف عدد الألياف في المقطع حسب التوزع التشريحي لها ضمن العضلي وتتباين القوة المنتجة من العضلات حسب المقطع بين 20-135 نيوتن في السم المربع. كما تؤثر زاوية الألياف العضلية وانتشارها كثيرا في انتاج القوة وذلك بالفرق بين نمط العضلات الطولاني ذو الألياف المتوازية والشكل المروحي الذي قد ينتج قوة كبيرة على الوتر ولكن المدى الحركي يكون أقل من المدى المحرك للعضلات الطولانية.

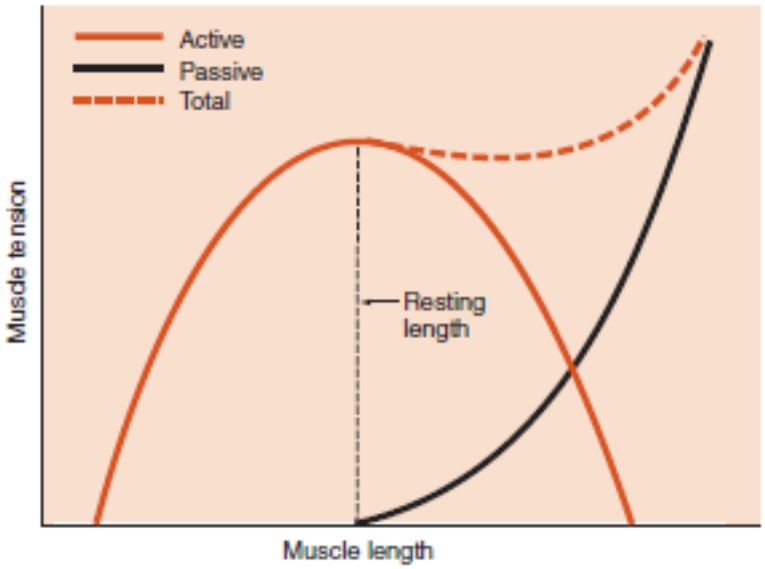
2. العلاقة بين الطول والتوتر في العضلة:

ان الساركومير يكون في وضع الراحة للعضلة في حالة مقابلة أعظمية لعدد الرؤوس من الميوسين والمواقع المقابلة لها على الأكتين وبالتالي في حال التقلص تكون القوة المنتجة للعضلة في ذروتها في هذا الطول ولكن في حال تزايد طول العضلة أو قصرها يحدث ترابط لعدد أقل من الليفات العضلية لعدم التواجد المثالي لعدد رؤوس الميوسين مع الأكتين و بالتالي تخف القوة والتوتر المنتجة من الساركومير.





لكن العلاقة بين الطول والتوتر بالعضلة ككل تختلف وذلك بسبب وجود النسج الضامة التي بسبب خواصها المرنة تسبب توتر سلبي ضد الشد عند تطويل العضلة ممانعا التطول وذلك يضاف له نفس الخاصية في الوتر الموصول مع العضلة لتكون العلاقة مع التطويل للعضلة بشكل سلبي هي زيادة التوتر فإذ ضفنا التقلص الفاعل للساركوميرات حصلنا على مخطط الطول مع التوتر الموضح بالشكل.



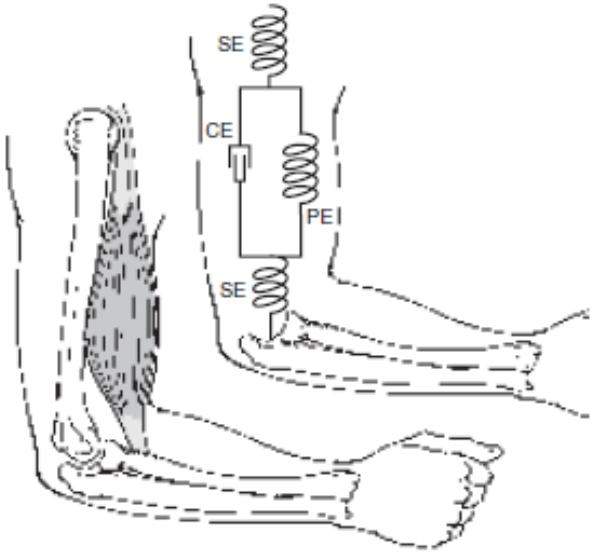
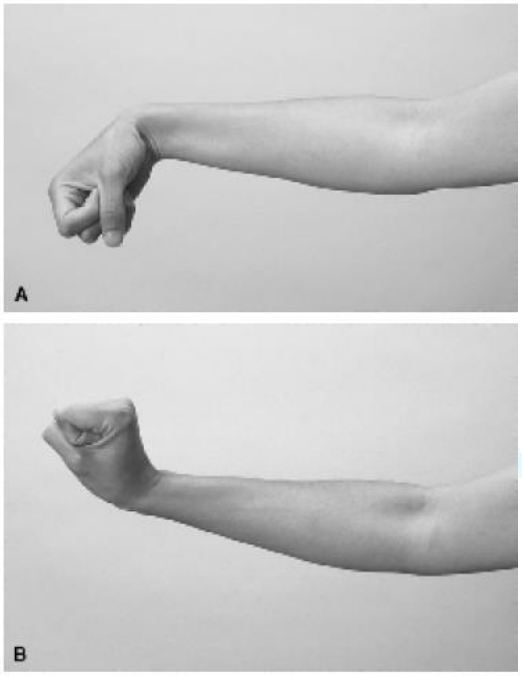


Figure 4.14: A mechanical model of the contractile and elastic components of a muscle. A muscle's contractile (actin and myosin) and elastic (connective tissue) components are often modeled mechanically as a combination of a contractile element (CE) with springs that represent the elastic elements that are both in series (SE) and in parallel (PE) with the contractile component.

مثال سريري:



العلاقة بين العزم الدوران وطول الذراع هي علاقة طردية فكلما زاد الزراع و كان محور القوة الناتجة عن التقلص عمودي على ذراع العزم كلما كانت القوة الناجمة أكبر وبالتالي يختلف العزم الدوراني أثناء حركة المفصل لتغير زاوية ذراع الحركة مع القوة.

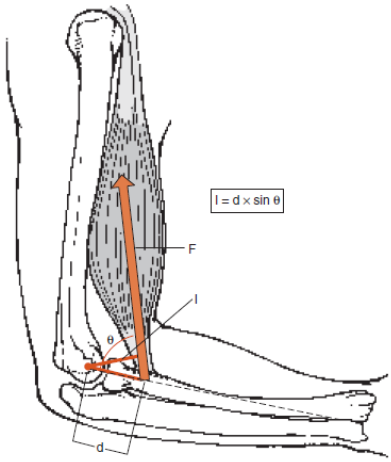


Figure 4.16: Moment arm of a muscle. A muscle's moment arm (l) is easily calculated using the muscle's angle of application (θ) and the distance (d) from the muscle attachment to the axis of rotation.

$$l = d \times \sin \theta$$

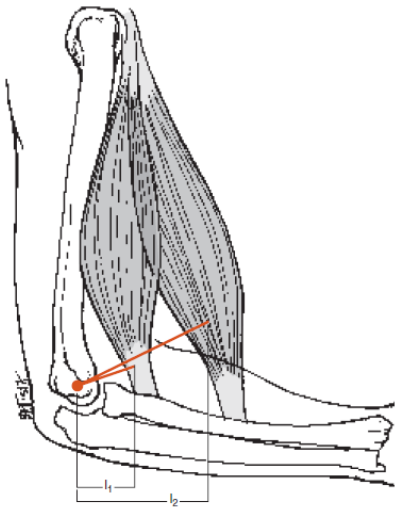
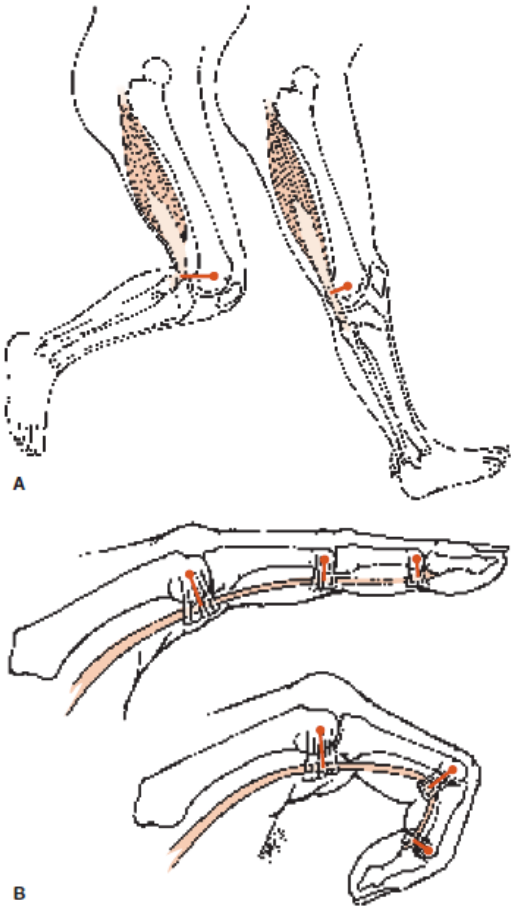


Figure 4.17: The effect of moment arm of a muscle on the muscle's performance. A muscle with a short moment arm (l_1) generates a smaller moment than a muscle with a longer moment arm (l_2) that generates the same contraction force.

MANARA UNIVERSITY

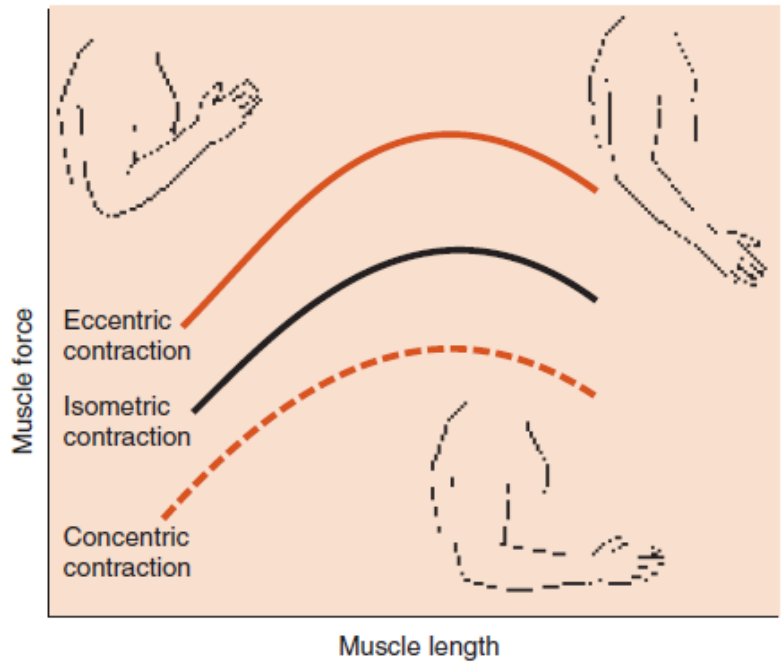


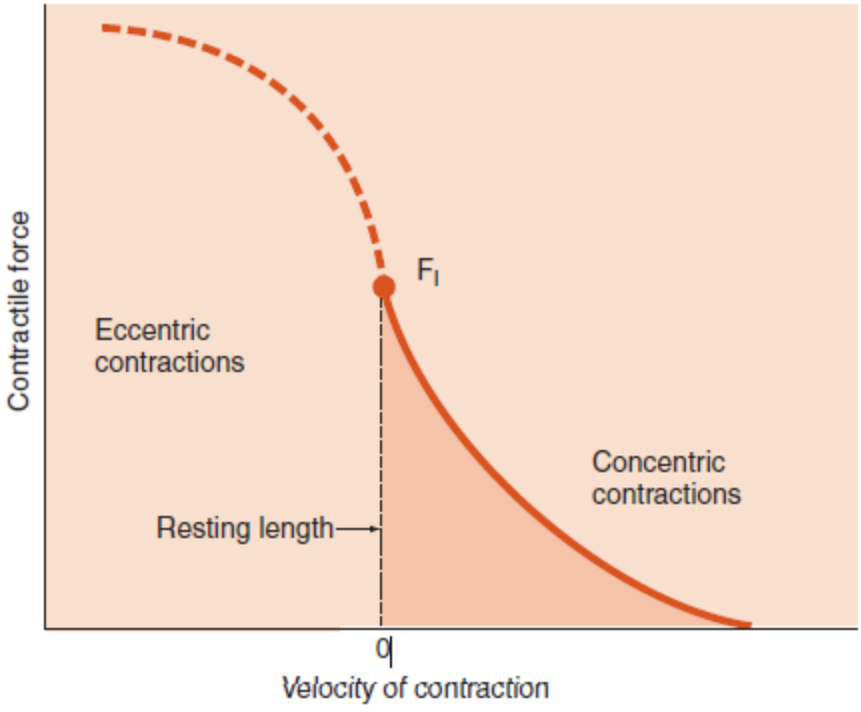
3. العلاقة بين سرعة التقلص وكمية القوة المنتجة من العضلة:

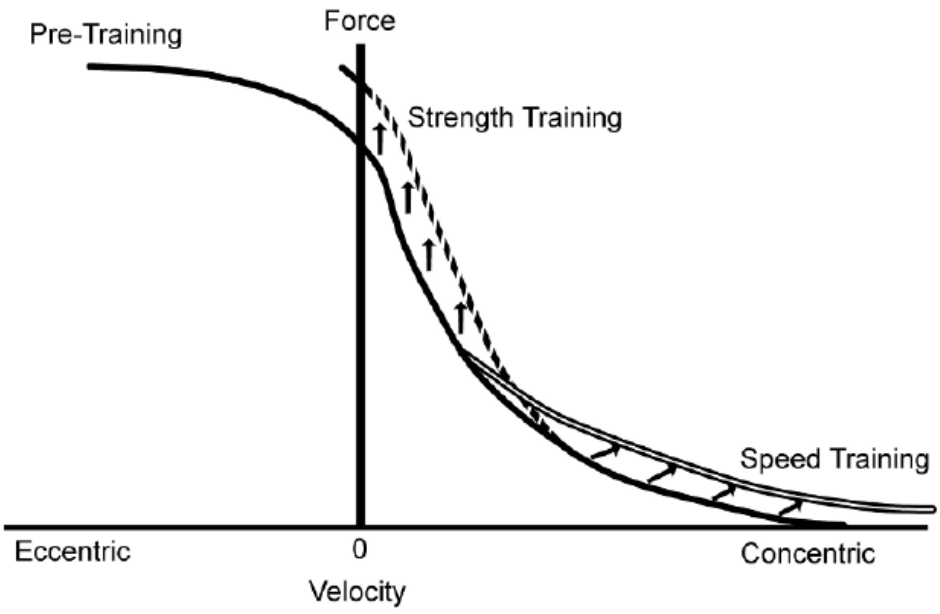
عادة ما يتم تحديد سرعة تقلص العضلة بالتغير في الطول في وحدة الزمن. وبالتالي التقلص متساوي الطول isometricليس له سرعة تقلص. طبعا على المستوى المجهري هناك تغير في طول العضلات حتى في تقلص متساوي الطول. على النقيض من ذلك ، تقلص المتقاصر concentric يوجد فيه هو تقصير واضح للعضلة وبالتالي لديه سرعة تقلص إيجابية.

أظهرت الدراسات أن القوة المنتجة أعظمية عندما تكون السرعة صفر أي في التقلص متساوي الطول و تناقص القوة المنتجة مع زيادة سرعة التقلص. أي التقلص سريع ينتج قوة أقل من التقلص البطيء في التقلص المتقاصر.

وهذه القاعد تنعكس في التقلص اللامركزي التطاولي eccentric حيث تزداد القوة المنتجة مع زيادة سرعة التقلص التطاولي وتبين أن التقلص التطاولي ينتج قو تساوي1.5إلى 2 مرة من أعظم تقلص تقاصري. كما أن هذه العلاقة تظل نفسها بغض النظر عن زاوية المدى الحركي ففي أيزاوية إذا قارنا القوى المنتجة نجد التقلص التطاولي هو الأعلى ثم المتساوي الطول والأضعف هو للتقلص التقاصري.

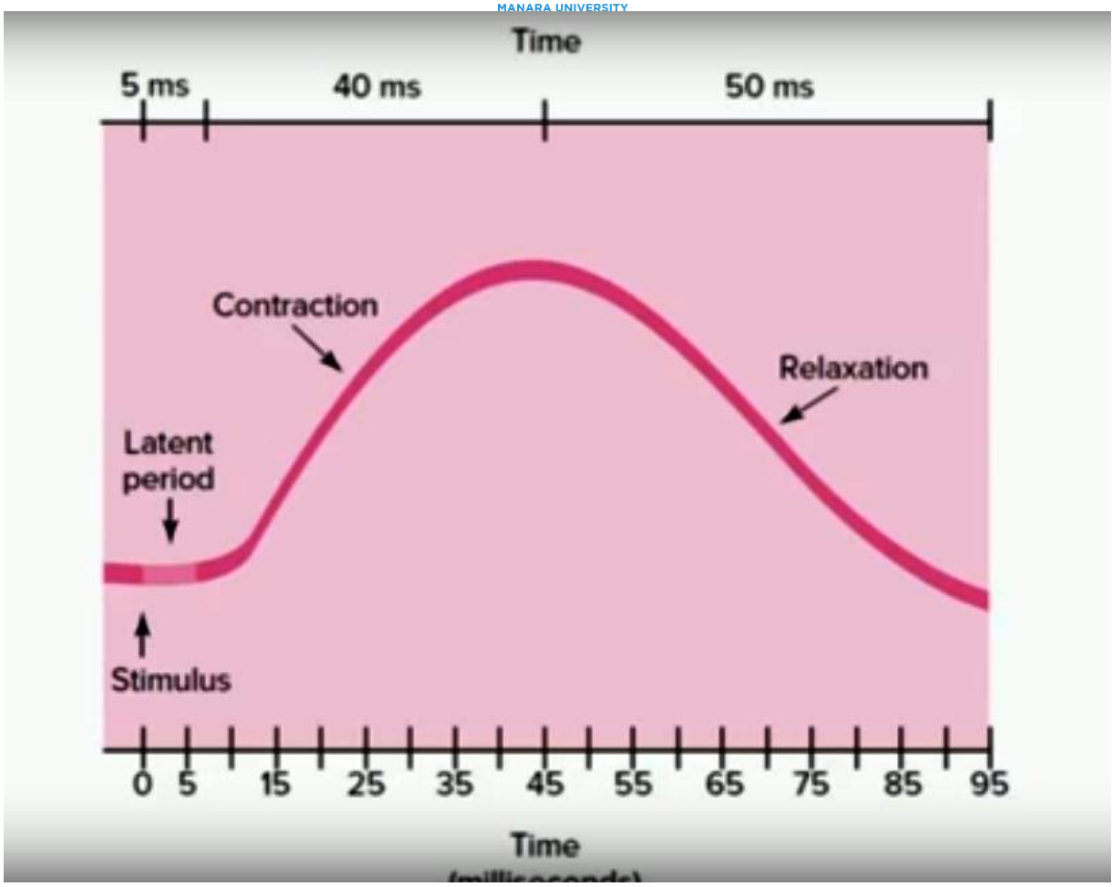


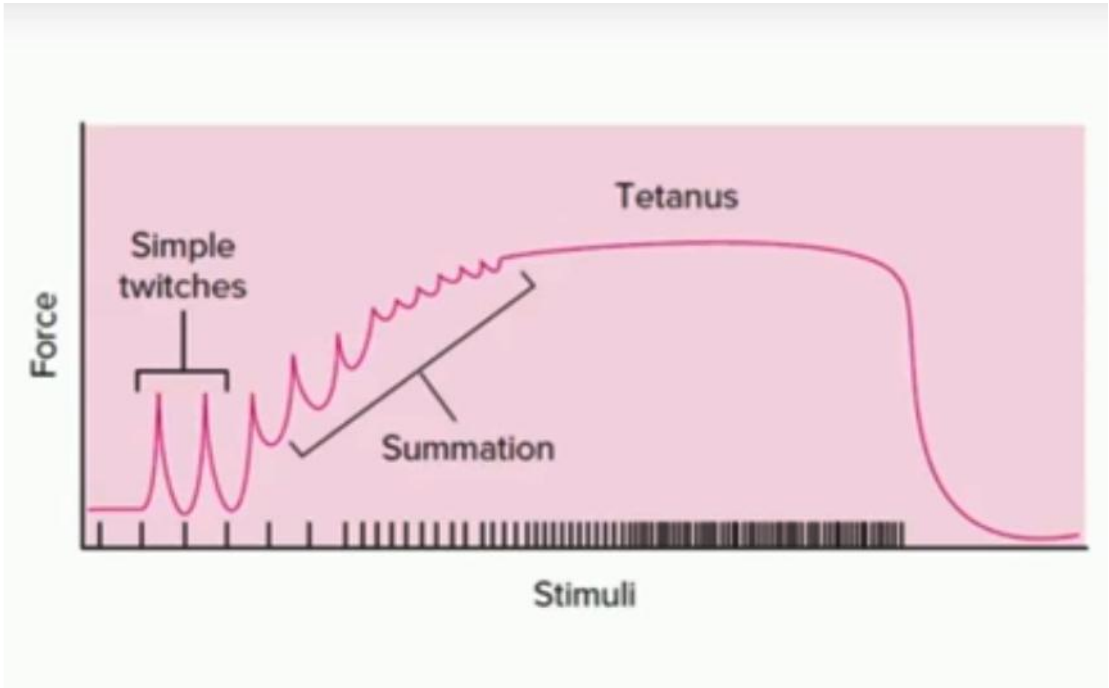


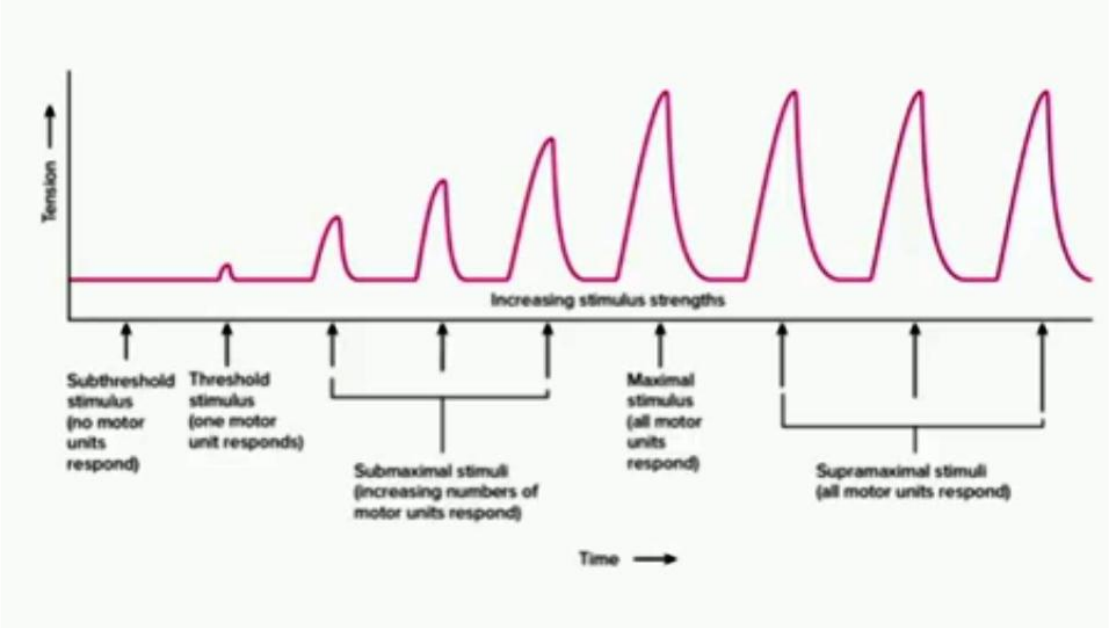


4. العلاقة بين قوة العضلة والوحدات المحركة:

الوحدة المحركة مكونة من خلية عصبية واحدة والتي تعصب بمحورها عدة ألياف عضلية في آن واحد (بين 4-400) وتحوي العضلة أعداد مختلفة من الوحدات المتحركة. تزداد القوة العضلية بعدد الوحدات المحركة التي تتفعل في آن واحد كما أن القوة العضلية المنتجة من الالليف العضلي يختلف حسب تردد التنبيه الكهربائي المحرض في الوحدة المحركة ففي حال تنبيه وحيد أو متكرر مع فواصل زمنية كبيرة نسبيا يحدث تقلص بقيمة معينة ثابتة في الليف المعصب وعند تسريع التنبيهات تبدأ التقلصات بالتداخل حيث لا تسترخي بالكامل ويتعاظم التقلص والقوة المنتجة بشك تقلص مع استرخاء جزئي ومع الاستمرار في زيادة سرعة التنبيه ليصل إلى تردد لا تسترخي العضلة فيه نهائيا والتقلص المنتج يكون أعظميا وهذا ما يسمى بالتقلص التكززي بحيث إذا استمر التنبيه يصل الليف إلى مرحلة التعب ويخف التقلص وينهار رغم وجود التنبيه الكهربائي المحرض.


Time
5 ms
40 ms
50 ms
Contraction
Relaxation
Latent
period
Stimulus
0 5 15 25 35 45 55 65 75 85 95
Time


Tetanus
Simple
twitches
Force
Summation
Stimuli



ونلاحظ أن في التخطيط الكهربائي للعضلة النمط الموجود في التقلص الأعظمي يكون واحد في كل من التقلص التطاولي والتقاصري بغض النظر عن القوة المنتجة من العضلة لأن الفرق ناتج عن ألية التقلص الميكانيكية وليس من زيادة التنبيه العصبي. إن الشخص الشاب الرياضي قد يستطيع أن يفعل 95-100 % من الوحدات المحركة- ولكن عند وجود الألم أو عدم الحركة لفترة طويلة فإن الشخص لا يستطيع تفعيل هذه النسبة من الوحدات وبالتالي القوة المنتجة تكون أقل من المتوقع وبالتالي بعد التدريب القليل وتخفيف الألم تتحسن القوة العضلية قبل أن تزداد سماكة الألياف العضلية بسبب التدريب.

5. العلاقة بين القوة المنتجة من العضلة ونوع الليف العضلي المكون لها:

ان العضلة تتكون من نسب مختلفة جينيا)بالنسبة للشخص(لأنواع الألياف العضلية المكونة لها كما تختلف حسب عمل العضلة بشكل عام ومن المعروف أن الألياف من النمط السريع الغليكوجيني Type IIb يستطيع أن يولد قوة في التقلص أكبر من باقي الأنماط وخاصة النمط البطيء التقلص Type I والتي تكون أليافه أصغر صحيح أن قابليته للتعب أكبر ولكن كإنتاج قوة الأشخاص الذين لديهم نسب أعلى من الألياف السريعة في عضلاتهم ينتجون قوة أكبر من الآخرين. العلاقة بين القوة المنتجة من العضلة مع كمية الحركة: من المعروف أن القوة العضلية تزداد مع الحركة والتدريب وأكثر التمارين والنشاطات التي تزيد القوة العضلية هي الحاملة للوزن والتمارين ضد المقاومة فقد وجد أن التمارين تسبب زيادة في ثخانة الليف العضلي ولا تحدث زيادة في أعداد الألياف العضلية وهذه الثماكة تكون في جميع أنماط الألياف العضلية وهو يظهر بزيادة قطر العضلة طبعا ويتجلى ذلك بزيادة القوة العضلية طبعا والتدريب يزيد من التروية الدموية ومن عدد الميتاكوندري في الألياف وخاصة من النمط الثاني. والعكس يحدث تماما في حال عدم الحركة فيبدأ الضمور العضلي وتصغر سماكة

الألياف في كل أشكالها وتضعف القوة العضلية المنتجة من التقلص العضلي وتخسر العضلة حوالي 25 % من حجمها خلال 5 أسابيع تقريبا من الراحة في الفراش.

د غياد درويش__