كلية الآداب و العلوم الإنسانية والاجتماعية

قسم التربية البدنية و الرياضية

محاضرات مقياس فسيولوجيا الجهد البدني ماستر1

تخصص:التدريب الرياضي النخبوي

الجهاز العضلي

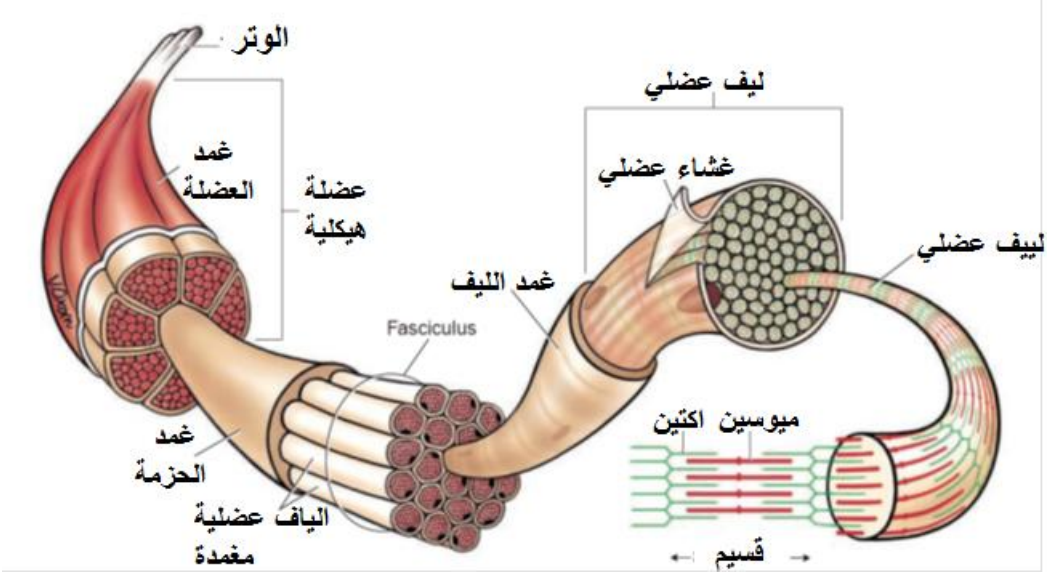
تعتبر العضلات وسيلة لتحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة حركية فعلى الرغم ان العظام والمفاصل تعطي الجسم الشكل المناسب وتساهم في توازنه الا انها تبقى غير قادرة على تحريكه بمفردها، لهذا فان العضلات تقوم بالدور الأساسي حيث تعطي الجسم القدرة على الحركة وتمده بالطاقة والحرارة وتساهم في اعطاءه القوام. تتكون الانسجة العضلية من خلايا متخصصة في الانقباض وتتحكم كمية الأوكسجين المستخدمة في مقدار تقلصها و انبساطها.

تركيب العضلة

تتكون العضلة من الألياف العضلية التي تتجمع في شكل حزم عضلية وهذه الألياف يتحدد عددها خلال الأربعة او الخمسة أشهر الأولى بعد الولادة ولا يتغير هذا العدد طوال العمر الا ان التدريب الرياضي يزيد بن سمك هذه الألياف وبالتالي يزيد سمك العضلة ككل. ويغلف اللينة العضلية من الخارج غشاء بسمي ساركوليما ويقوم هذا الغشاء بتوصيل الاشارات العصبية على سطح الليفة العضلية، والألياف العضلية تعتبر خلية من خلايا الجسم الا أنها تختلف عن باقي خلايا الجسم بزيادة عدد النويات. وتضم الليفة عدد من الليفات myofibrils يجري بينها سائل الساركوبلازم sarcoplasme يملئ فراغ الخلية ويسمح بتواجد العضيات مثل الميتوكوندريا، واجسام غولجي والأنوية.

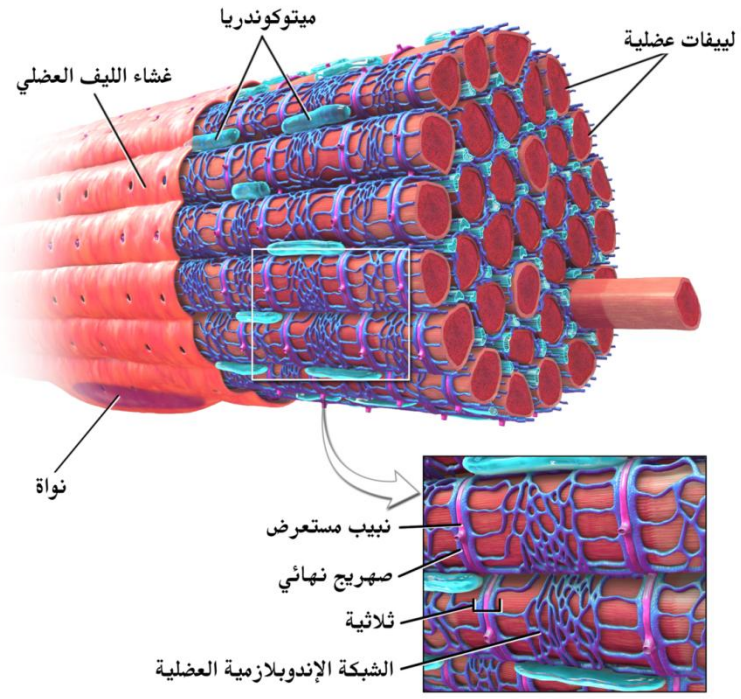
والليفات هي المسئولة عن اتمام الانقباض العضلي نتيجة لما تحتويه من فتائل اكثر صغرا تسمى الخيوط Myofilarnents وهي نوعان النوع الأول أكثر سمكا ويسمى "ميوسين" والنوع الأخر رقيق ويسمى "الأكتين" وتبعا لتنظيم هذه الخيوط نجد أن العضلة تنقسم الى مناطق وضيئة وعتمة على التوالي ومن هنا جاءت تسمية العضلات الهيكلية باسم العضلات المخططة، وتتكون المنطقة المعتمة من نسبة أكبر من خيوط الميوسين السميكة، بينما تتكون المنطقة المضيئة من أجزاء الأكتين، وتتداخل نهايات الأكتين والميوسين فيما بينها.

.

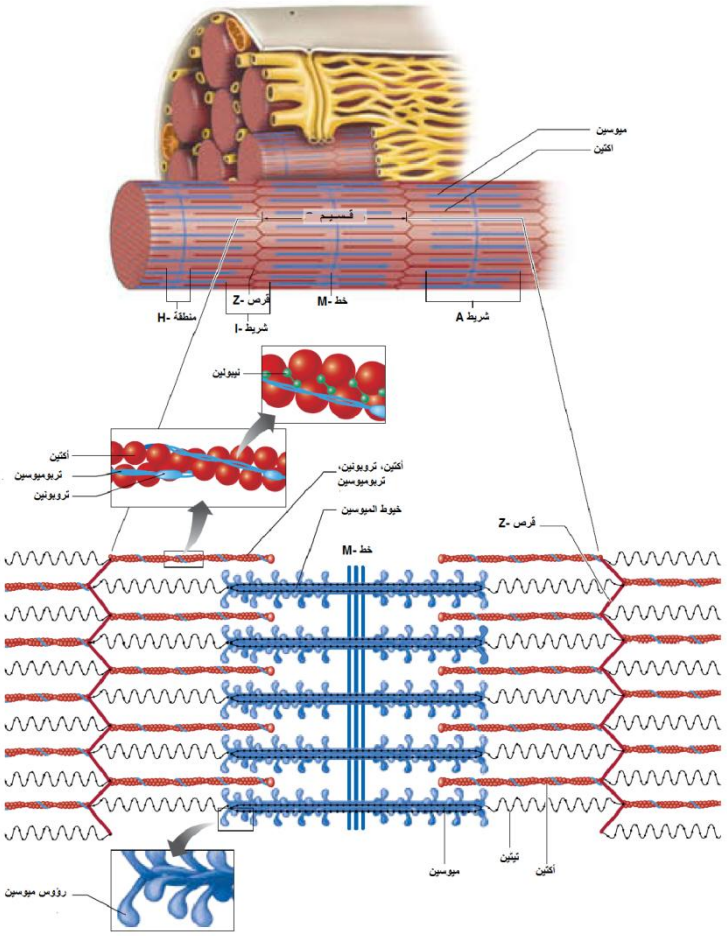


شكل يوضح تركيب الجهاز العضلي

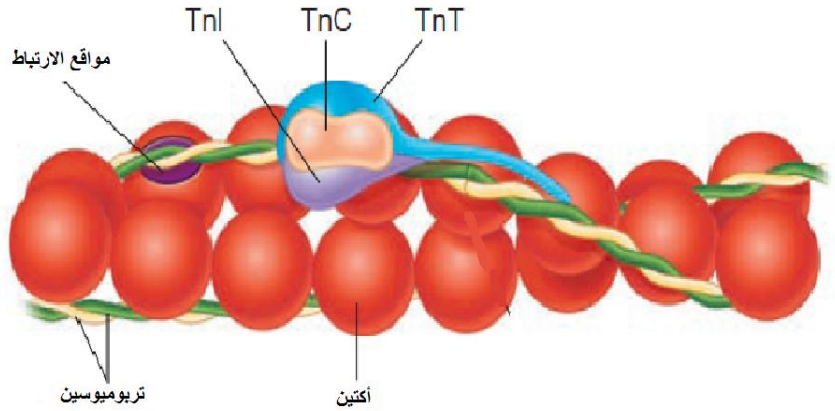
William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012



https://ar.wikipedia.org/wiki/نبيب مستعرض

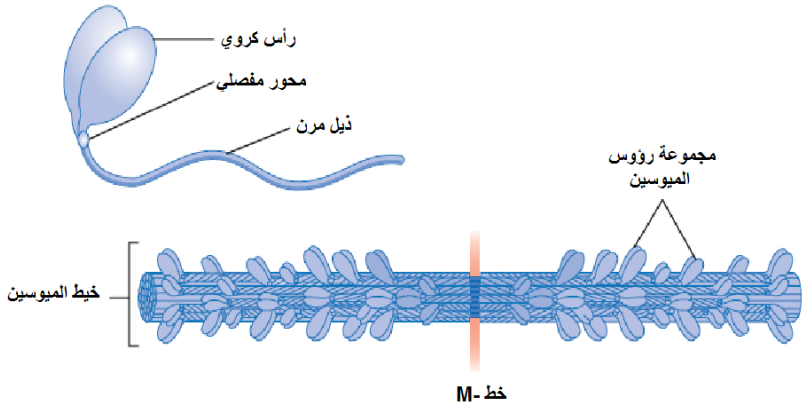


Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kenney, Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, 5th ed, USA, 2008



شكل يوضح التنظيم الجزيئي لخيوط الأكتين

William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012



شكل يوضح التنظيم الجزيئي لخيوط الميوسين

William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012

التقلص العضلي

لكي تتقلص العضلات، يجب أن تحدث ثلاثة أحداث رئيسية:

1- يجب توليد جهد الفعل action potential (AP) في الخلايا العصبية الحركية التي تعصب العضلات.
2- يجب أن تطلق الخلية العصبية الحركية ناقلًا عصبيًا neurotransmitter ينتقل عبر الوصلة العصبية العضلية ويرتبط بمستقبلات على غشاء الخلية العضلية.

3- يجب أن تؤدي نقطة جهد الفعل في العضلة إلى انزلاق الليفات العضلية وبالتالي تقصير العضلة.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

عندما تستجيب العضلة لإشارة عصبية واحدة تصل إليها عن طريق تنبيه العصب أو العضلة نفسها (كهربائيا) تعرف تلك العملية بالانقباضة العضلية البسيطة، ومنذ لحظة وصول المنبه أو المثير العصبي إلى العضلة وحتى نهاية تلك الانقباضة البسيطة تمر العضلة بثلاث مراحل هي:

1- **مرحلة الكمون او السكون Latent Period** وهي فترة زمنية قصيرة تقدر بحوالي 10 ملي ثانية تنقضي بين لحظة إعطاء الحافز أو المثير وبين بداية عملية التقلص أو الانقباض، وتحدث في تلك الفترة مجموعة من التغيرات الكيميائية والفيزيائية بالعضلة كاستعداد لعملية الانقباض، حيث تجهز طاقة الانقباض ويزول استقطاب غشاء الليفة العضلية وتتحرر مادة الأستيل كولين.

2- مرحلة الانقباض Contraction Period وفيها تنقبض العضلة وتتقلص اليافها بانزلاق وتداخل فتائل الاكتين وفتائل الميوسين، مما يترتب عليه حدوث نصر في ألياف العضلة وزيادة في توترها وتستغرق تلك العملية حوالي 40 ملى ثانية.

3- مرحلة الانبساط (الارتخاء) Relaxation Period هذه المرحلة تمثل رجوع الالياف العضلية إلى سابق طولها أو توترها قبل الانقباض، وتستغرق تلك الفترة حوالي 50 ملى ثانية.

فيسيولوجيا الرياضة نظريات وتطبيقات، احمد نصر الدين سيد، دار الفكر العربي، القاهرة، 2003

نظرية الخيوط المنزلق لتقلص العضلات

تُستخدم عادة نظرية الانزلاق في تقلص العضلات لوصف كيفية توليد تقلص العضلات للقوة. تم جمع قدر كبير من البيانات من الأشعة السينية والدراسات المجهرية الخفيفة والمجهرية الإلكترونية لدعم النظرية المنزلق لتقلص العضلات. هذه النظرية تحسب لإنتاج القوة خلال تقلص متحدة المركز concentric (تقصير) بشكل

جيد للغاية. ومع ذلك، هناك بعض القلق بشأن المدى الذي تفسر به نظرية الانزلاق في توليد القوة خلال الانقباضات الطويلة eccentric (الإطالة). المبادئ الأساسية لهذه النظرية هي كما يلي:

1- تتولد قوة التقلص من خلال العملية التي تنزلق الأكتين على رباط الميوسين.

2- لا تتغير أطوال الخيوط أثناء تقلص العضلات.

3- يتناقص طول قسيم العضلة أو الساركومير مع انحراف الأكتين فوق خيوط الميوسين وسحب أسطوانة Z باتجاه مركز القسيم.

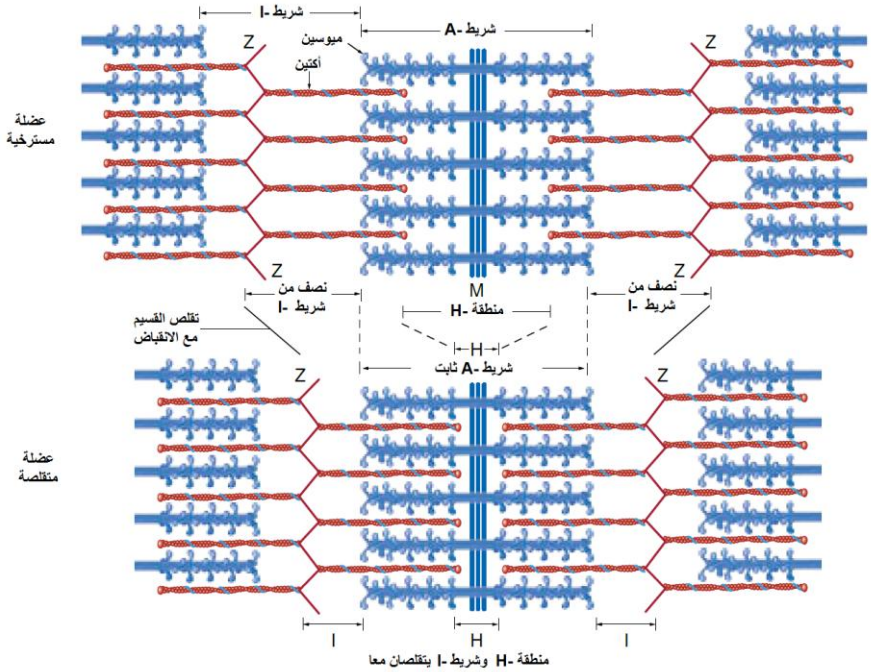
الكثير من الأدلة على نظرية الانزلاق ينبع من التغيرات الملحوظة في طول القسيم لاحظ التغييرات التالية:

- لا يغير الشريط A الطول، لكن الأقراص Z تتقارب معًا، يتم الحفاظ على طول الشريط A لأن طول القاعدة السميكة لا يتغير.

- تقصير الشريط I وقد تختفي. تقصير الشريط I لأن الخيوط الرفيعة يتم سحبها فوق الخيوط السميكة تجاه مركز القسيم وبالتالي، هناك مساحة ضئيلة أو معدومة حيث لا تتداخل فيها الخيوط الرقيقة مع الخيوط السميكة.

- تتقلص منطقة H وقد تختفي لأن الخيوط الرفيعة يتم سحبها فوق الخيوط السميكة باتجاه مركز القسيم. إذا تداخلت الخيوط الرفيعة مع السميكة لطول الخيوط السميكة بالكامل، فلا وجد منطقة H

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



شكل يوضح تغيرات القسيم اثناء التقلص

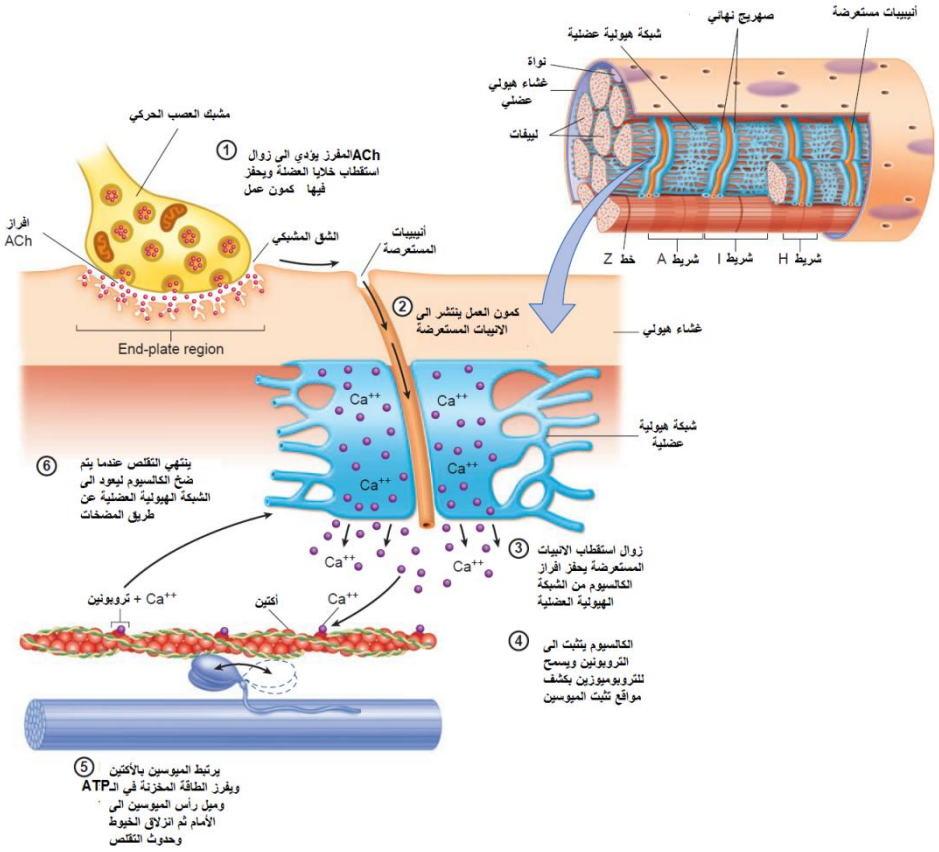
Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kenney, Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, 5th ed, USA, 2008

اقتران الإثارة بتقلص

اقتران الإثارة–تقلص هو سلسلة الأحداث التي بواسطتها يبدأ جهد الفعل(حدث كهربائي) في غشاء الليف العضلي sarcolemma مما يؤدي إلى تقلص الخلية العضلية بانزلاق الخيوط العضلية (حدث ميكانيكي). يحدث اقتران الإثارة–تقلص على ثلاث مراحل:

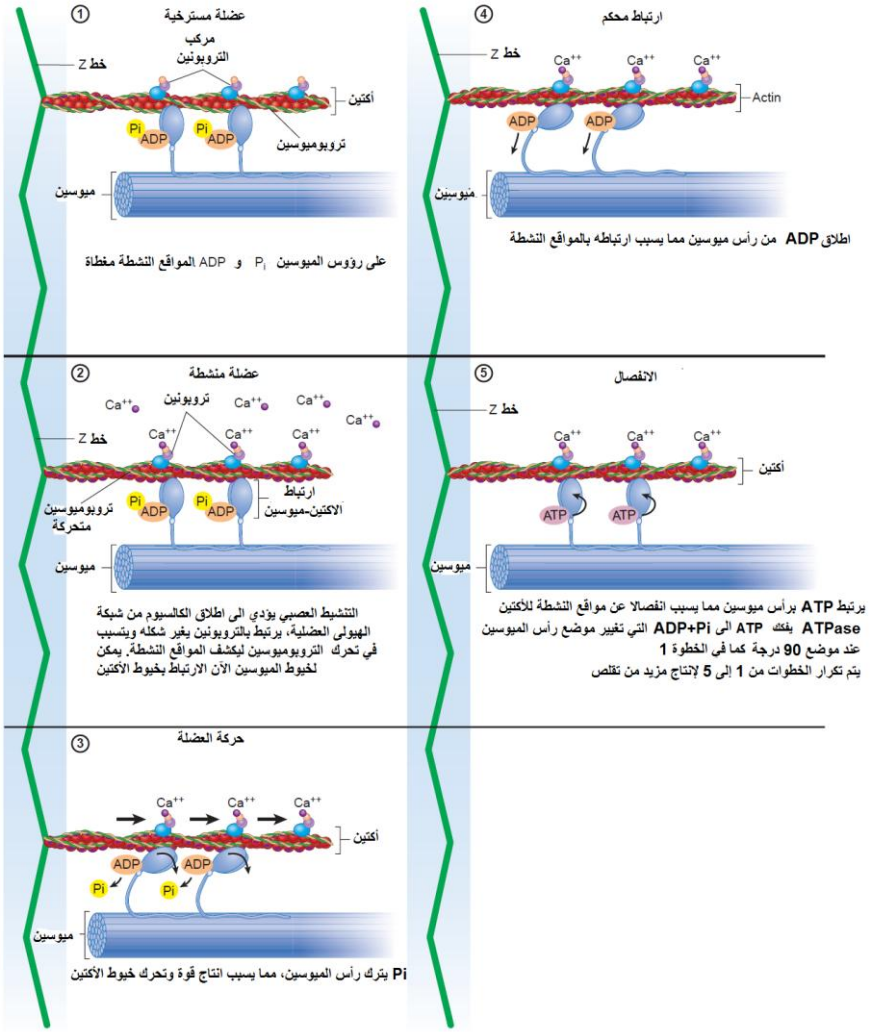
1 انتشار زوال الاستقطاب depolarization ، 2 ربط الكالسيوم إلى التروبونين، 3 توليد القوة في حالة الراحة، يغطي التروبوميوسين tropomyosin المواقع النشطة على الأكتين. يبدأ اقتران الإثارة تقلص مع الاستقطاب وانتشار جهد الفعل على طول الليف العضلي ويستمر ليضل الأنيبات المستعرضة T ويسبب افراج الكالسيوم من الحويصلات الجانبية المجاورة . يرتبط الكالسيوم المنطلق بجزيئات التروبونين أثناء المرحلة الثانية، هذا يتسبب في إزالة التروبوميوسين من موضع الحجب الخاص به في الأكتين. المرحلة الثالثة من اقتران الإثارة–تقلص هي دورة الجسور المتقاطعة **cross–bridging cycle** تشتمل على ربط رؤوس الميوسين بالأكتين والإطلاق اللاحق للطاقة المخزنة في رؤوس الميوسين

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



شكل يوضح سلسلة التقلص العضلي

William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012



شكل يوضح مراحل التقلص

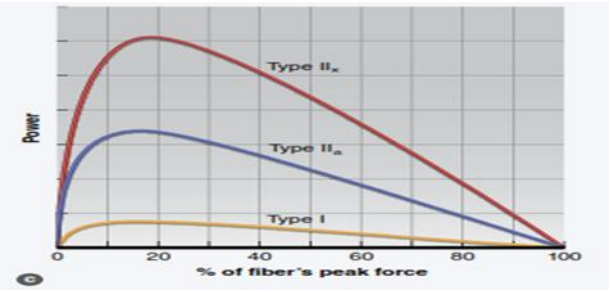
William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012

أنواع الألياف العضلية

ليست كل ألياف العضلات متشابهة. تحتوي العضلات الهيكلية الفردية على ألياف لها سرعات مختلفة من التقلص والقدرة على توليد أقصى قدر من القوة: النوع الأول (type I) وتسمى أيضًا الألياف البطيئة، والنوع الثاني (type II) تسمى أيضًا الالياف السريعة. تستغرق ألياف النوع الأول حوالي 110 مللي ثانية للوصول إلى ذروة التوتر عند تحفيزها. في حين ألياف النوع الثاني يمكن أن تصل إلى ذروة التوتر في حوالي 50 مللي ثانية.

تم تحديد نوع واحد فقط من ألياف النوع الأول، إلا أن ألياف النوع الثاني تصنف الى انواع، الشكلان الرئيسيان للألياف من النوع الثاني هما نوع سريع (type IIa) و نوع وسيط سريع (type IIa) .

Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kenney, Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, 5th ed, USA, 2008



Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kenney, Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, 5th ed, USA, 2008

توصف عادة عضلات العضلات بخاصيتين: الخاصية الانقباضية (نشل) والخاصية الأيضية

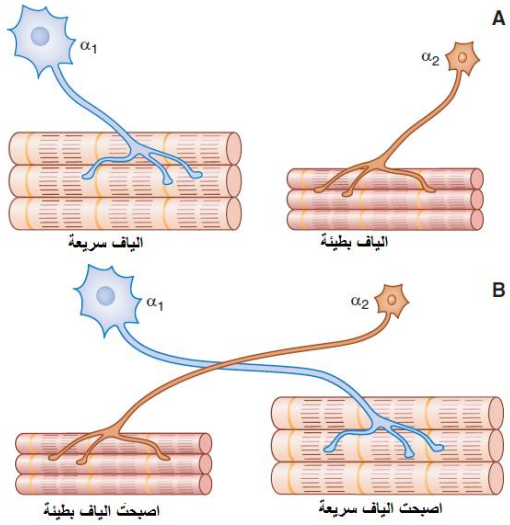
الخاصية الانقباضية (نشل)

بناءً على الاختلافات في خواص الانقباض (نشل)، يمكن تصنيف عضلات الإنسان على أنها ذات تقلص بطيء (ST) أو تقلص سريع (FT). فهم الفرق بين سرعات التقلص يبدأ بفهم تكامل العضلات والأعصاب. يتم تحفيز عضلات الهيكل العظمي بواسطة الخلايا العصبية الحركية ألفا (α)، والتي توجد في فئتين، α1 و α2الخلايا العصبية الحركية α1 تعصب الالياف السريعة FT والخلايا العصبية الحركية α2 تعصب الالياف البطيئة ST . بناء على نتائج التجربة التي تعاملت مع تعصيب العضلات حيث تم فصل الخلايا العصبية الحركيةα1 عن الالياف السريعة و وصلها بالألياف البطيئة ST ، والعكس بالنسبة للخلايا العصبية الحركية α2 ، فكانت النتائج أن تغيرت سرعة التقلص الى النقيض. لذلك من المنطقي أن نستنتج أن خاصية الانقباض في العضلات تعتمد على نوع الخلايا العصبية الحركية التي تثبّت العضلات.

كما تساهم العناصر الأخرى في العضلات، وخاصة إنزيم myosin ATPase ، في التغير في سرعة التقلص. في الواقع، عندما تجرى خزعة العضلات biopsied ، تكون كمية الميوسين ATPase غالبًا هي المستخدمة لتمييز سرعة تقلص.

من الملاحظ أن الخلايا العصبية الحركية α2 هي أصغر العصبين مقارنة بالخلايا العصبية α1، ويعتبر الحجم مهم لأن الخلايا العصبية الحركية الصغيرة لها عتبات إثارة منخفضة وسرعات توصيل بطيئة وبالتالي يتم تجنيدها في الشدة المنخفضة. على النقيض من ذلك، فإن الخلايا العصبية الحركية الكبيرة لديها عتبة إثارة أعلى ولا يتم تجنيدها إلا عند الحاجة إلى إنتاج قوة عالية. وبالتالي، يتم تجنيد الخلايا العصبية الحركية وفقا لمبدأ الحجم. ويتم تجنيد الوحدات الحركية الأصغر (الخلايا العصبية الحركية α2 المعصبة لـــ ST) خلال الأنشطة التي تتطلب إنتاج قوة منخفضة، كلما زادت الحاجة إلى إنتاج القوة ، مثل رفع الأوزان الثقيلة، يتم تجنيد الوحدات الحركية الأكبر (الخلايا العصبية الحركية α1 المعصبة لـــ FT)

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



شكل يوضح تجربة تقاطع الاعصاب

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

الخاصية الايضية

على أساس الاختلافات في الخواص الأيضية، يمكن وصف للعضلات البشرية بأنها جليكوجينية glycolytic ، أو مؤكسد oxidative ، أو مزيج من الاثنين معا، على الرغم من قدرة جميع أعضاء العضلات على إنتاج

الطاقة من خلال كل من عمليات تحلل السكر والأكسدة، فقد يسود أحد أو آخر نوع استقلاب الطاقة أو قد يكون الإنتاج متوازناً.

يتم تحديد خصائص التمثيل الغذائي لعينة العضلات عن طريق للإنزيمات الرئيسية. في كثير من الأحيان فوسفو فركتوكيناز لعمليات الجلكزة و انزيم سوكسينت ديهيدروجينيز succinate dehydrogenase (SDH) للعمليات المؤكسدة.

التصنيف المتداخل

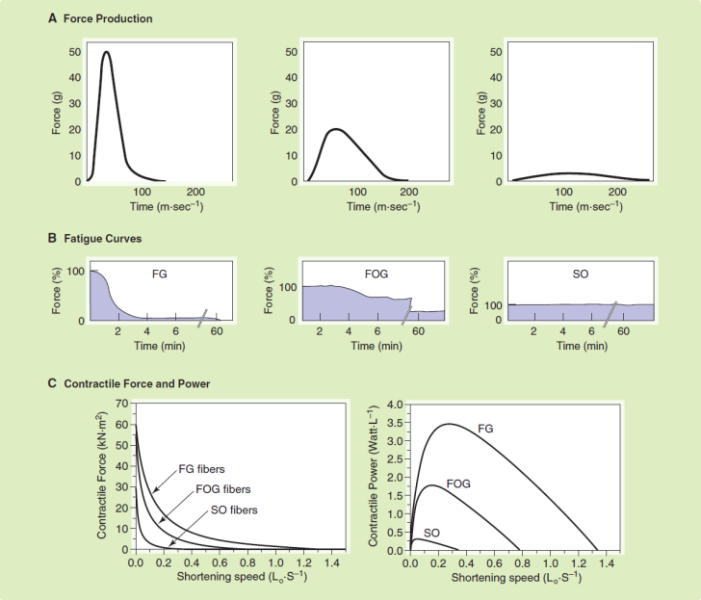
تعتمد في المقام الأول على الخاصيتين الايضية والانقباضية معا، حيث يشار إلى البطيئة المؤكسدة (SO) للألياف من النوع الاول، الألياف السريعة الجليكوجينية المؤكسدة: Fast Oxidative Glycolytic | ويرمز لها بالرمز (FOG) هذا النوع من الألياف يعتمد بشكل أساسي على إنتاج الطاقة بواسطة استخدام الأكسجين في أكسدة الجليكوجين، بالإضافة إلى استخدامه لنظام آخر هو الجلكزة اللاهوائية (احتراق الجلوكوز دون استخدام الاكسجين). الألياف السريعة الجليكوجينية Fast Glycolytic ويرمز لها بالرمز FG. ويعتمد هذا النوع من الألياف بدرجة أساسية على نظام الجلكزة اللاهوائية Glycolysis.

تختلف أقطار الالياف حيث يرتبط حجم العضلة بحجم الخلية العصبية الحركية التي تعصبها، ولكن حجمها في المقام الأول يؤثر على كمية البروتينات المتقلصة داخل خلية العضلاتST . فتكون الالياف البطيئة أصغر من FT – السريعة ولها خلايا عصبية حركية أصغر. إن الحجم الأكبر هو نتيجة لوجود بروتينات أكثر تقلصا، والتي بدورها تمكنهم من إنتاج قوة أكبر. ترتبط الاختلافات الهيكلية الأخرى بين أنواع الالياف مباشرة بمسارها الأيضي السائد لإنتاج الطاقة. تتمتع الالياف المؤكسدة البطيئة بأعلى عدد الميتوكوندريا، كثافة عالية الشعيرات الدموية، محتوى الميوغلوبين العالي، والنشاط العالي لإنزيم الأكسدة. اما الالياف السريعة الجليكوجينية فلديها عدد قليل من الميتوكوندريا، وكثافة منخفضة للشعيرات الدموية، ومحتوى الميوجلوبين منخفض، وارتفاع نشاط انزيم تحلل السكر. بينما الألياف السريعة الجليكوجينية المؤكسدة FOG تحمل خصائص كل من النوعين السابقين، ولكن أيضا لها خصائص فريدة من نوعها. على وجه التحديد، يكون لها كثافة متوسطة من الميتوكوندريا، و الشعيرات الدموية، ومحتوى الميوغلوبين، ونشاط إنزيم الأكسدة، ومخازن فوسفوكرياتين وجليكوجين عالية، ونشاط مرتفع لإنزيم الجلكزة.

والملاحظ انه على الرغم من ان جميع العضلات تخزن وتستخدم الجليكوجين الا انه بالنظر الى كون الجليكوجين هو الركيزة الوحيدة (مع الجلوكوز) للجلكزة فمن المنطقي أن الالياف السريعة و الوسيطة

يحتويان على مخزون جليكوجين أعلى من البطيئة، وعلى العكس من ذلك ، نظرًا لأنه لا يمكن تقسيم الدهون الثلاثية واستخدامها بالجلكزة، فمن المتوقع أن كمية الدهون الثلاثية تكون اعلى في الالياف البطيئة.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



شكل يوضح فوارق انتاج القوة وفق نمط الالياف العضلية

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

توزيع أنواع الألياف

تتألف جميع العضلات في البشر من مزيج من عضلات البطيئة و السريعة مرتبة على نمط فسيفساء. يُعتقد أن هذا الترتيب يؤثر على المهام التي يجب أن تؤديها العضلات البشرية. ومع ذلك، قد يختلف التوزيع النسبي لهذه النسبة المئوية، على سبيل المثال، قد يكون للعضلة الوحيدة ما يصل إلى 85٪ من الالياف البطيئة، وعضلات العين أقل من 30٪ منها. قد يختلف التوزيع أيضًا اختلافًا كبيرًا بين الأفراد لنفس المجموعة العضلية. فيما يلي الخصائص العامة لتوزيع أنواع: الالياف:

– على الرغم من اختلاف توزيع النوع الليف داخل الأفراد وفيما بينهم، إلا أن معظم الأفراد يمتلكونه 45٪ و 55٪ من الالياف البطيئة

– لا يختلف توزيع الأنواع البينية بين الذكور والإناث، على الرغم من أن الذكور يميلون إلى إظهار تباين أكبر من الإناث.

– بعد مرحلة الطفولة المبكرة، لا يتغير التوزيع بشكل كبير حسب العمر.

– يتم توزيع نوع الألياف في المقام الأول وراثيا.

– العضلات المشاركة في النشاط الوضعي المستمر لديها أكبر عدد من الالياف البطيئة.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

تقلص العضلات والحركة

إنتاج قوة العضلات

التوتر مقابل الحمل

تطورت القوة عندما تعمل عضلة تقلص على جسم يسمى توتر العضلات **muscle tension** ، القوة التي تمارس على الجسم من قبل الجسم تسمى الحمل **load** الحمل وتوتر العضلات هي قوى متعارضة.

تطوير القوة

تعتمد كمية القوة التي ينتجها كل نوع من التقلص على العوامل العصبية والميكانيكية.

العوامل العصبية

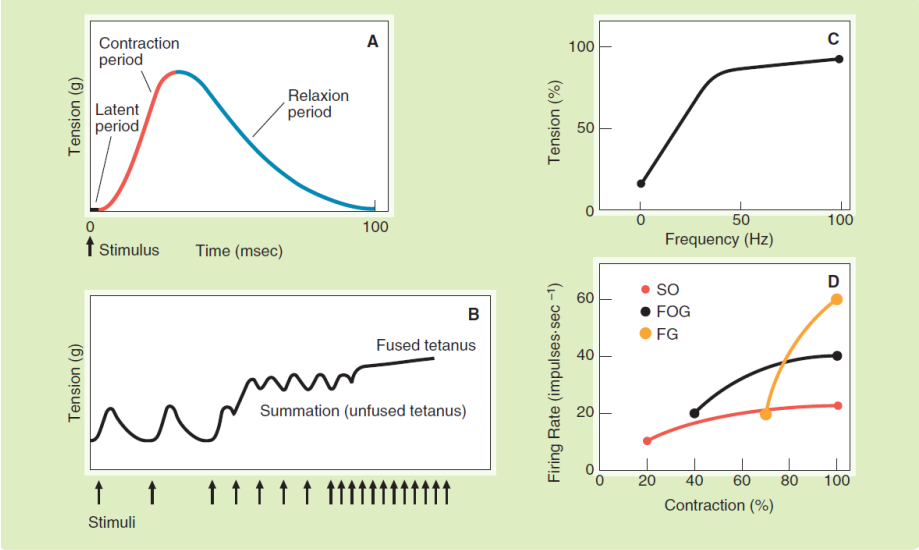
التنشيط العصبي

عندما يتم تحفيزها، تنتج العضلة تقلصا ثم تسترخي، إذا تم تطبيق حافز ثانٍ قبل استرخاء بالكامل، ينتج عن ذلك الجمع الزمني *temporal summation* مما ينتج عنه توتر أكبر قليلاً. إذا تم زيادة وتيرة التحفيز بما فيه الكفاية بمنع الاسترخاء، تمتزج الانقباضات الفردية معًا لتشكل كزازًا غير منتظم (أو غير مصطنع) ثم كزازًا

سلسًا (منصهرًا).

هناك عاملان عصبيان يحددان إنتاج القوة في العضلات كلها. العامل الأول هو تواتر التنبيه، فمع زيادة وتيرة التنبيه تزداد القوة التي تنتجها العضلات. العامل الثاني هو تغيير عدد الوحدات الحركية التي يتم تنشيطها، والتي تسمى التوظيف، في الإنسان السليم، تتقلص بعض الوحدات الحركية دائمًا بطريقة متناوبة. تحافظ هذه الانقباضات على ما يطلق عليه نغمة العضلات *muscle tone*, or *tonus* ، لذلك وفقًا لمبدأ الحجم، يتم تجنيد الخلايا العصبية الحركية الصغيرة α2 التي تعصّب الوحدات الحركية المؤكسدة البطيئة (SO) أولاً مع زيادة التنبيه يتم تنشيط الخلايا العصبية الحركية الكبيرة α1 التي تعصب حركات الالياف الوسيطة (FOG) ، تليها تجنيد الالياف السريعة (FG).

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



شكل يوضح استجابة العضلة للتنبيه

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

تجنيد الألياف العضلية

عندما يصل التنبيه الحركي للألياف العضلية في الوحدة الحركية، فإن جميع الألياف الموجودة في الوحدة تنتج قوة. تنشيط المزيد من الوحدات الحركية هو الطريقة التي تنتج بها العضلات المزيد من القوة. عندما نحتاج القليل من القوة، يتم تجنيد سوى عدد قليل من وحدات المتحركة. الالياف من النوع الثاني تحتوي وحدات المتحركة أكثر من الوحدات الحركية من النوع الأول. يفرض التقلص تجنيد تدريجي للألياف من النوع الأول ومن ثم النوع الثاني، اعتمادا على متطلبات النشاط الذي يتم تنفيذه. كلما زادت شدة النشاط، زاد عدد الألياف التي يتم تجنيدها، يتم تنشيط الوحدات المتحركة بشكل عام على أساس ترتيب ثابت للتجنيد يسمى مبدأ التجنيد المنظم، الآلية التي قد تفسر جزئياً مبدأ التجنيد المنظم هي مبدأ الحجم، الذي ينص على أن ترتيب تجنيد الوحدات الحركية يرتبط ارتباطًا مباشرًا بحجم الخلية العصبية الحركية الخاصة بهم. حيث تجند الوحدات الحركية ذات الخلايا العصبية الحركية الأصغر أولاً. خلال التمارين التي تستمر عدة ساعات، يتم إجراء التمرين بشدة معتدلة، والتوتر في العضلات منخفض نسبيًا. نتيجة لذلك، يميل الجهاز العصبي إلى تجنيد تلك الألياف العضلية التي تتكيف بشكل أفضل مع نشاط التحمل وهي النوع الأول وبعض ألياف النوع الثاني. مع استمرار التمرين، تصبح هذه الألياف مستنفدة مخزون الجليكوجين، ويجب على الجهاز العصبي توظيف المزيد من ألياف النوع الوسيط للحفاظ على توتر العضلات. أخيرًا، عند نفاد ألياف النوع الأول والنوع الوسيط، قد يتم تجنيد ألياف النوع الثاني لاستمرار التمرين.

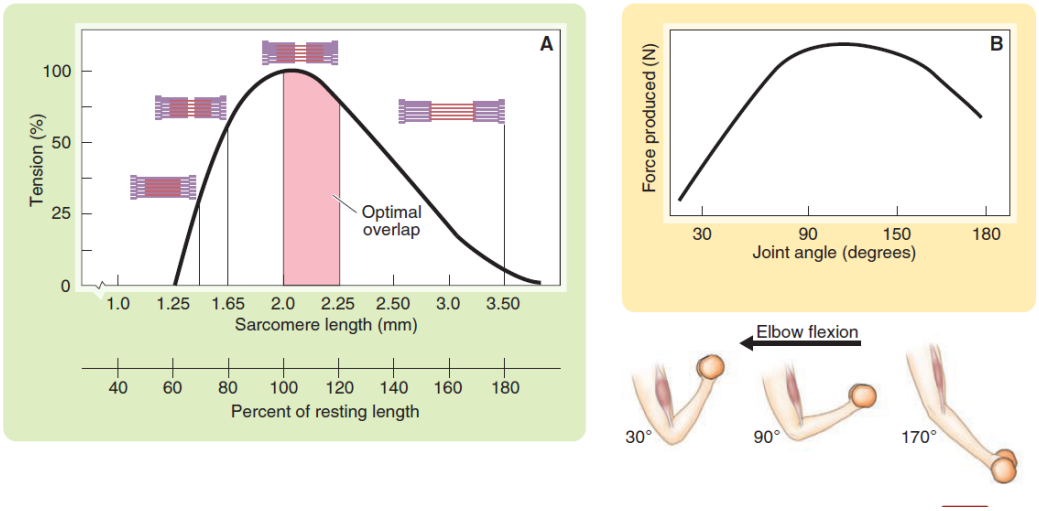
Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kenney, Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, 5th ed, USA, 2008

العوامل الميكانيكية

هناك أربعة عوامل ميكانيكية تؤثر على القوة الناتجة خلال تقلصات العضلات:

- **العلاقات بين طول- الزاوية - الشد:** داخل العضلات، ترتبط كمية التوتر التي يمكن بذلها بالطول الأولي للقسيم. يرتبط مقدار التوتر الناتج ارتباطًا مباشرًا بدرجة التداخل بين الخيوط السميكة والرفيعة. في الألياف الطويلة، يوجد تداخل ضئيل بين الأكتين والميوسين، مما يجعل تكوين جسور متقاطعة أمرًا صعبًا. في التقلص، حيث تتداخل الخيوط السميكة والرقيقة تمامًا تقريبًا بالكامل، لا يوجد مجال كبير لمزيد من التقلص. وبالتالي، يتم إنتاج قوة أقل في كل من المواضع المطولة والمتقلصة. على النقيض من ذلك، الحد الأقصى لعدد من الجسور المتقاطعة يتزامن مع أعلى إنتاج القوة، والذي يحدث في حوالي 100-120 ٪ من طول القسيم في الاسترخاء.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



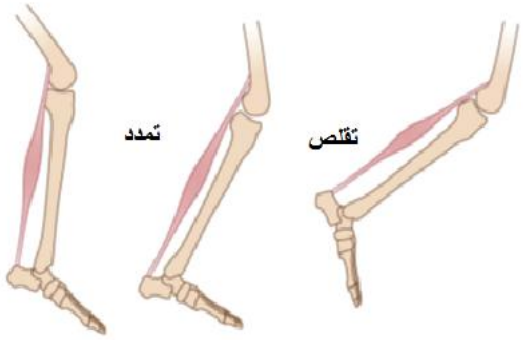
شكل يوضح **العلاقات بين طول– الزاوية – الشد في العضلة**

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

العلاقات بين القوة والسرعة: تزداد سرعة تقلص العضلات مع انخفاض القوة التي تطورها، مما يعني أن العضلات يمكن أن تتقلص بشكل أسرع عند الحمل الأخف وزنا. يمكن استخلاص عدة استنتاجات من هذه الرسوم البيانية.

العلاقة بين القوة والمرونة: المرونة هي العامل الميكانيكي الثالث الذي يشارك في تطوير قدرات العضلات. كل من الالياف العضلية وملحقاتها الأوتار تحتوي على مكونات مرنة. فالتزامن الذي يحدث عندما تمدد العضلة وبعد ذلك تتقلص، ينتج قوة اكبر مما كان يمكن أن يحدث دون التمدد. يتم التعبير عن العلاقة بين التمدد وقوة التقلص كدورة تقصير تمدد (SSC) *stretch–shortening cycle* ، لا تحدث في جميع الحركات البشرية، ولكن. إنها أكثر وضوحًا في أنشطة مثل الجري والقفز و (إلى حد أقل) ركوب الدراجات.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



شكل يوضح العلاقة بين القوة والمرونة

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

مساحة المقطع: ترتبط القوة القصوى التي يمكن تطويرها داخل العضلة بمنطقتها المستعرضة. العضلات المصممة لتوليد قوة عالية (pennate, bipennate, and multipennate) تشريحيا لتعظيم منطقة مستعرضة. العضلات المصممة للسرعة العالية تكون مغزلية (Fusiform Muscles)

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

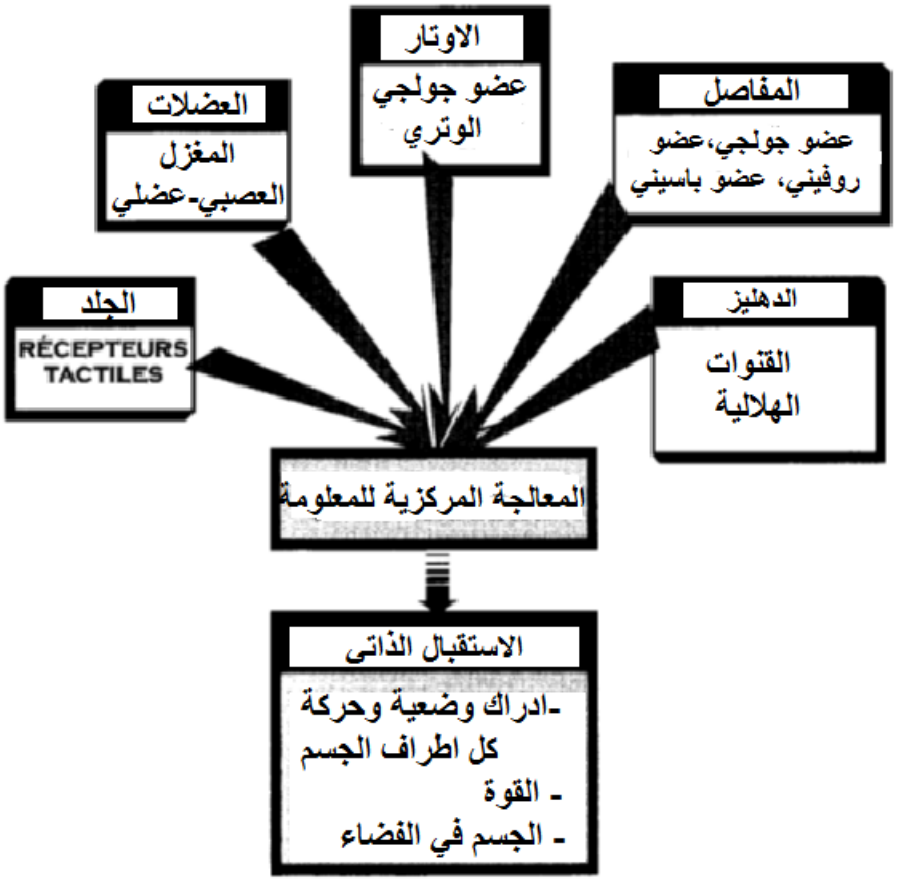
الاستقبال الذاتي والاحساس الحركي proprioception and kinesthetic sense

تتم مراقبة هذا الإحساس بموضع الجسم من خلال تحسس طول العضلات والقوة المنتجة. ويتحقق هذا الرصد عن طريق المستقبلات الذاتية proprioceptors، وهي مستقبلات تقع داخل العضلات و الأوتار ترسل باستمرار معلومات الى الدماغ. تعتبر هذه المعلومات مهمة أيضًا لتعلم المهام الحركية، خاصة عند تكرارها مرارًا وتكرارًا لإنشاء تأثير تعليمي **learning effect**، وهو القدرة على تكرار نمط توظيف خاص لوحدات متحركة بعينها مما يؤدي إلى أداء مهاري ناجح يمكن استنساخه بعد ذلك بدقة أثناء المنافسة. كذلك تسمح للجهاز العصبي المركزي بالاطلاع الدائم على ما يحدث بحركات الجسم، وتتيح إجراء العديد من الحركات بسرعة بحيث لا يفكر الفرد في أداءها إلا قبل أن يبدأ (على سبيل المثال، تصور مهارة رياضية أو رؤية مجموعة طويلة من الخطوات قبل تنفيذها). هذه المعلومات المستمرة أمر حيوي للحركة البشرية الطبيعية

وكذلك أي أداء رياضي. وقد سميت هذه القدرة على معرفة مكان وجود الجسم في الفضاء بالمعنى الحس الحركي.

واهم هذه المستقبلات نجد مغزل العضلات وجهاز جولجي.

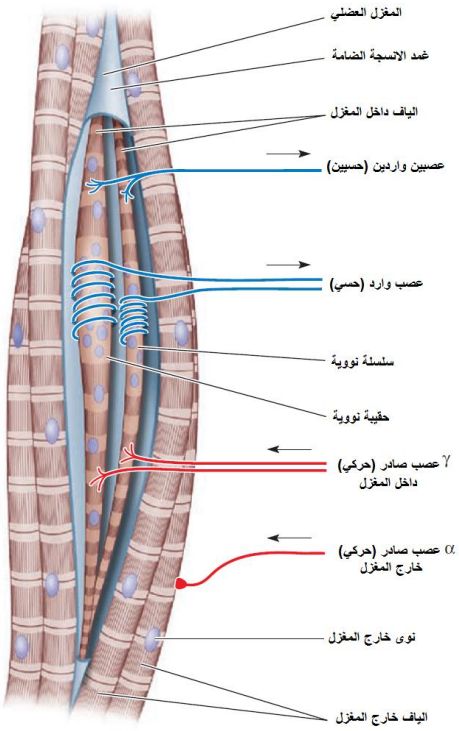
William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012



Robert Rigal, Motricité Humaine Fondements Et Applications Pédagogiques, Presses De L'université Du Québec, 3e édition, 2002

مغزل العضلات Muscle Spindles

وظيفته في مراقبة امتداد أو طول العضلات حيث يدفع العضلة الى التقلص الفوري استجابةً للامتداد الزائد. توجد المغازل في حواجب عضلية معدلة مرتبة بالتوازي مع الياف أخرى داخل العضلة ككل. تتكون هذه الأجزاء الداخلية من منطقة مركزية حساسة للامتداد (أو منطقة حسية)، إذا تم تمديد العضلات، كما هو الحال في التقاط حقيبة ثقيلة بشكل غير متوقع، فإن المغزل يتم تمديدها أيضًا. يحمل العصب الحسي للمغزل تنبيها إلى الحبل الشوكي حيث يتشابك العصب الحسي مع الخلايا العصبية الحركية ألفا. تقوم الخلايا العصبية الحركية ألفا بنقل هذا تنبيه حركي إلى العضلات، مما يؤدي إلى تقلص العضلات المتمددة فيخفف الضغط على مغزلها. في الوقت نفسه، تمنع الخلايا العصبية الأخرى تنشيط العضلات المناهضة للعضلة الممدودة بحيث لا تتداخل مع تقصير العضلات الناشط المرغوب فيه. من منظور عملي، أداء التمارين مع هذه النتيجة هي أحد التفسيرات لزيادة إنتاج القوة مع وجود قوة سابقة قبل أي نشاط.



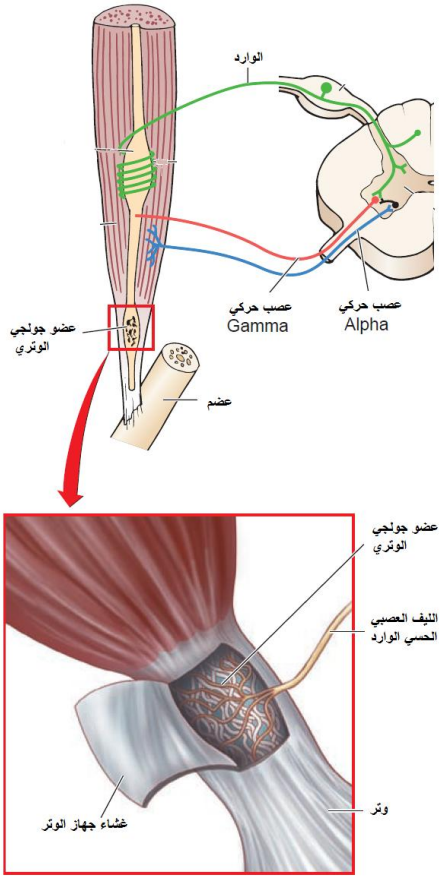
شكل يوضح المغزل العضلي

William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012

عضو جولجي الوتري

تتمثل الوظيفة الرئيسية لعضو جولجي الوتري هي الاستجابة للقوة داخل الوتر إذا كانت القوى التي تمارس على الأوتار مرتفعة للغاية، فقد تحدث الإصابة ويتم تنشيط عضو. يتم تخفيف التوتر داخل العضلات بحيث يمكن تجنب تلف العضلات و الاوتار.

William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012



شكل يوضح عضو جولجي الوتري

William J. Kraemer *et al*, Exercise physiology : integrating theory and application, Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 1st ed, United States, 2012

مستقبلات المفصلية

تقع في الأنسجة حول المفصل ، وتشمل أساسا ثلاثة أنواع من المستقبلات: مستقبلات Ruffini ، تشعبات متعددة من الخلايا العصبية الواردة تقع في كبسولة المفصل، مستقبلات Golgi ، تشبه إلى حد كبير تلك من الأوتار، ومستقبلات Pacini ، مغلفة، وتقع في السمحاق بالقرب من إدراج الأربطة.

Robert Rigal, Motricité Humaine Fondements Et Applications Pédagogiques, Presses De L'université Du Québec, 3e édition, 2002

النغمة العضلية للجسم: Muscle Tone

تبقى عضلات الجسم دائما في حالة من التوتر أو الانقباض الجزئي – غير المرئي – نتيجة وجودها المستمر في حالة من الشد السلبي الناتج عن عاملين أساسيين هما:

1– أن طول الالياف العضلية أقل من المسافة بين بداية العضلة ونهايتها (منشأ العضلة واندغامها)، ولذا تظل العضلة مشدودة عن اتصالها بالعظام.

2– أن هناك قوى لشد الجاذبية الأرضية على العضلات المقاومة لتأثير الجاذبية والتي تحفظ قوام الجسم في صورته المعتدلة ويطلق عليها العضلات الناصبة للقوام Postural Muscles وتتمثل في عضلات الظهر والعضلات الباسطة Extensor Muscles للفخذ والساق .

ويلاحظ بان وجود شد دائم على العضلة يؤدي إلى استشارة المستقبلات الحسية بها Proprioceptors وخاصة المنازل العضلية Spindles Muscle التي ترسل إشارات عصبية إلى الجهاز العصبي المركزي الذي يقوم بدوره بالإشارة إلى انقباض الألياف العضلية حول المغزل العضلي، ويكون ذلك بصفة مستمرة ودائمة مما يحدث تلك النغمة العضلية الدائمة، والجدير بالذكر بأن ضعف النغمة العضلية بالجسم يعد أحد أهم أنواع الخلل التي تتسبب في انحراف قوام الجسم، ويظهر ذلك بشكل جلي في حالات المرض وعند التقدم في العمر وكذا لدى الأشخاص ذوي البنية العضلية الضعيفة.

ومما سبق يمكننا تعريف النغمة العضلية للجسم بأنها:

درجة التوتر الجزئي الدائم – غير المرئي – لعضلات الجسم التي تساهم في حفظ قوام الجسم في وضعه المعتدل، المسلم به من الناحيتين التشريحية والميكانيكية.

فيسيولوجيا الرياضة نظريات وتطبيقات، احمد نصر الدين سيد، دار الفكر العربي، القاهرة، 2003

التعب العضلي

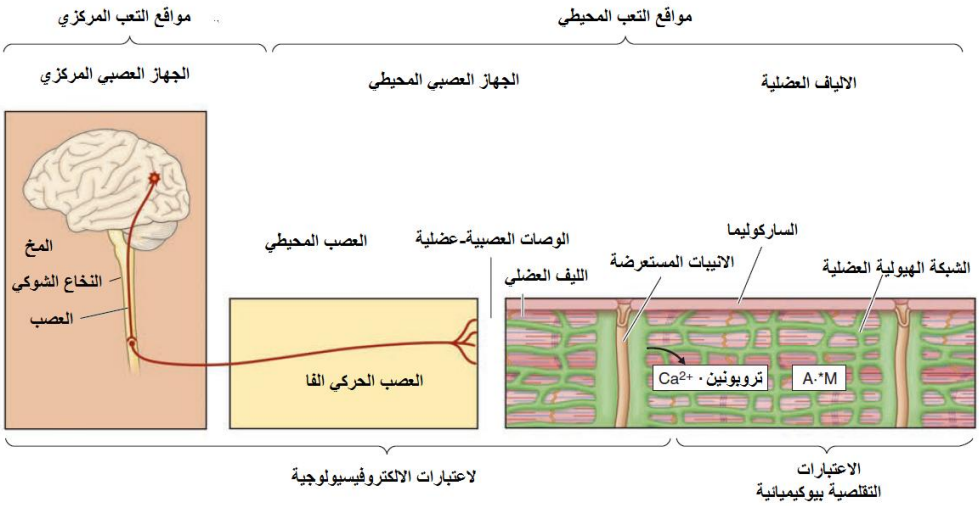
يعتبر المعهد القومي لرئة القلب والدم (NHLBI) أن التعب هو "حالة يكون فيها هناك فقدان في القدرة على تطوير القوة و/ أو سرعة العضلات، الناتجة عن نشاط العضلات تحت الحمل والذي يمكن عكسه بالراحة" (NHLBI, 1990).

ولكن ما الذي يسبب التعب العضلي؟ التعب العضلي ظاهرة معقدة وما زالت مثيرة للجدل تظهر لتشمل الفشل في واحد أو أكثر من المواقع على طول سلسلة العمليات التي تؤدي إلى تقلص العضلات. يمكن تصنيف التعب على أنه مركزي أو محيطي استنادًا إلى موقع التعب. تشير المواقع المركزية إلى الجهاز العصبي (الدماغ والحبل الشوكي)، في حين تشمل المواقع المحيطية مواقع محددة في العضلات الهيكلية. في الواقع، التعب هو ظاهرة معقدة تنتج على الأرجح عن تفاعل هذه الآليات في موقع واحد أو أكثر. يعتمد التعب على نوع التمرين الذي يتم إجراؤه ونوع العضلة المعنية وحالة التمرين والحالة التغذوية.

- **التعب المركزي:** قد يكون مرتبطًا بالخلايا العصبية في الدماغ أو الحبل الشوكي، وهو مدخلات مثبطة من العوامل العضلية الخلايا العصبية في الدماغ، أو التغيرات في الخلايا العصبية الحركية. قد يتأثر التعب المركزي أيضًا بالعوامل النفسية والدوافع التي تنطوي على مقدار الجهد الذي يبذله الفرد.

- **التعب المحيطي:** يشير إلى التعب في موقع ما وراء الجهاز العصبي المركزي، في أي مكان من الوصلة العصبية العضلية إلى العضلات الهيكلية. يمكن أن يحدث التعب المحيطي في العديد من المواقع. يمكن أن يشمل هذا الفشل استنفاد الناقل العصبي، و/ أو مشاكل ارتباط الناقل العصبي بالمستقبلات على الغشاء ما بعد المشبكي. يمكن أن ينتج التعب أيضًا عن فشل الإثارة الكهربائية على طول أنبيبات المستعرضة T وعجزها عن إطلاق الكالسيوم الكافي. وبالمثل، يمكن أن ينتج التعب عن أي تغيير في قدرة الكالسيوم على الارتباط مع التروبونين وبالتالي إزالة التروبوميوسين من موضعه المعيق في الأكتين. قد ينتج التعب أيضًا عن تغيرات كيميائية حيوية وعملية الأيض داخل العناصر المتقلصة (اعتلالات عضلية في الخلية العضلية).

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



شكل يوضح مواقع التعب

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

اسباب التعب

نضوب الكرياتين فوسفات: يستخدم في العمل اللاهوائية لإعادة بناء الـــATP والحفاظ على مخزونه داخل العضلات. دراسات خزعة من عضلات الفخذ البشرية لها أظهر أنه خلال الانقباضات القصوى المتكررة، يتزامن التعب مع نضوب الكرياتين فوسفات على الرغم من ATP هو مسؤولة بشكل مباشر عن الطاقة المستخدمة خلال هذه الأنشطة، يتم استنفادها بسرعة أقل من الكرياتين فوسفات أثناء الجهد العضلي لأن ATP يتم إنتاجه بواسطة أنظمة أخرى.

استنفاذ الجليكوجين: يتم الحفاظ على تركيز الـــ ATP العضلي أيضا عن طريق تحليل الجليكوجين في العضلات. يصبح الجليكوجين العضلي مصدر الطاقة الأساسي لإعادة بناء الـــ ATP لكن المخزون محدود ويستنزف بسرعة. وقد أظهرت الدراسات وجود علاقة بين استنفاد جليكوجين العضلات والتعب أثناء التمارين المطولة. وبالتالي، فإن الإحساس بالتعب يتزامن مع انخفاض تركيز الجليكوجين في العضلات ولكن ليس مع معدل النضوب.

نواتج الأيض: وقد تم تضمينها كعوامل تسبب أو تساهم في التعب. مثال على ذلك هو Pi ، الناتج عن تفكيك الكرياتين فوسفات والـــ ATP . النواتج الاخرى التي حظيت بأكبر قدر من الاهتمام في مناقشات التعب هي

الحرارة وحمض اللبن وايونات الهيدروجين. فإنفاق الطاقة ينتج عنه نسبيًا إنتاج الحرارة، والتي يتم الاحتفاظ بعضها في الجسم، مما تسبب في ارتفاع درجة الحرارة الأساسية والتي يمكنها أن تزيد من معدل استخدام الكربوهيدرات وتسرع في استنفاد الجليكوجين، وهي تأثيرات قد تكون نتيجة زيادة إفراز الإيبينيفرين. ومن المفترض أن ارتفاع درجة حرارة العضلات يضعف كل من وظيفة العضلات والهيكل العظمي.

بالنسبة لحمض اللبن وأيونات الهيدروجين، فانه على الرغم من أن معظم الناس يعتقدون أن حمض اللبن هو المسؤول عن التعب في جميع أنواع التمارين ولكن لا ينبغي إلقاء اللوم على وجود حمض اللبن لشعور التعب في حد ذاته. عندما لا يتم تصريفه، ينفصل حمض اللبن، ويتحول إلى اللاكتات ويسبب تراكم أيونات الهيدروجين. هذا التراكم يسبب تحمض العضلات، مما يؤدي إلى حالة تعرف باسم الحماض. ولحسن الحظ، فإن الخلايا تمتلك سوائل الجسم عازلة، مثل بيكربونات (HCO_3) والتي تقلل من تأثير اضطراب ايونات الهيدروجين بدون هذه المخازن المؤقتة ، فإن H^+ سيخفض درجة الحموضة إلى حوالي 1.5، مما يؤدي إلى مقتل الخلايا. بسبب قدرة التخزين المؤقت للجسم، يظل تركيز H^+ منخفضًا حتى أثناء أشد التمرينات، مما يتيح انخفاض درجة الحموضة في العضلات من قيمة الراحة البالغة 7.1 إلى ما لا يقل عن 6.6 إلى 6.4 عند الإرهاق. ومع ذلك، فإن تغييرات درجة الحموضة من هذا الحجم تؤثر سلبا على إنتاج الطاقة وتقلص العضلات. حيث يعمل PH داخل الخلايا دون 6.9 على تثبيط عمل فسفوفركتوكيناز، وهو إنزيم سكري مهم، مما يبطئ معدل تحلل السكر وإنتاج ATP . بالإضافة إلى ذلك، قد يحل H^+ محل الكالسيوم داخل الألياف، ويتداخل مع اقتران جسور الأكتين–الميوسين ويقلل من قوة انقباض العضلات.

التعب العصبي العضلي: حتى الآن نظرنا في العوامل الوحيدة داخل العضلات التي قد تكون مسؤولة عن التعب. تشير الدلائل أيضًا إلى أنه في بعض الظروف، قد ينتج التعب عن عدم القدرة على تنشيط ألياف العضلات، وهي وظيفة الجهاز العصبي. قد يحدث التعب العصبي عند التقاطع العضلي العضلي، مما يمنع انتقال التنبيه العصبي إلى غشاء ليف العضلات. أثبتت الدراسات التي أجريت في أوائل القرن العشرين أن مثل هذا الفشل في انتقال النبض العصبي في العضلات المرهقة. قد يتضمن هذا الفشل واحدة أو أكثر من العمليات التالية:

•قد يتم تقليل إطلاق أو تخليق أسيتيل كولين (ACh) ، وهو ناقل عصبي ينقل النبض العصبي من العصب الحركي إلى غشاء العضلات.

•قد يصبح إنزيم الكولين Cholinesterase ، الإنزيم الذي يفكك الـــ ACh بمجرد أن ينقل التنبيه، ويمنع تركيز Ach الكافي لبدء نشاط آخر محتمل. قد يصبح نشاط إنزيم الكولين منخفض النشاط (مثبطًا)، مما يسمح بتراكم الـــ ACh بشكل مفرط، تثبيط الاسترخاء.

•قد يطور غشاء ليف العضلات عتبة أعلى لتحفيز الخلايا العصبية الحركية.

•قد تتنافس بعض المواد مع ACh على مستقبلات الغشاء العضلي دون تنشيط الغشاء.

•قد يترك البوتاسيوم الفضاء داخل الخلايا للعضلة المتقلصة، مما يقلل من إمكانات الغشاء إلى نصف قيمة الراحة.

الجهاز العصبي المركزي قد يكون الجهاز العصبي المركزي (CNS) أيضًا موقعًا للتعب. الآليات الدقيقة الكامنة وراء دور الجهاز العصبي المركزي في التسبب في التعب والإحساس به، وحتى التغلب عليه ليست مفهومة تمامًا. يعتمد تجنيد العضلات، جزئيًا، على التحكم الواعي. قد يؤدي الإجهاد الناتج عن التمرينات الشاملة إلى تثبيط الوعي أو اللاوعي لرغبة الرياضي في تحمل المزيد من الألم. قد يبطئ الجهاز العصبي المركزي سرعة التمرين إلى مستوى مقبول لحماية الرياضي. في الواقع، يتفق الباحثون عمومًا على أن الانزعاج الملحوظ للتعب يسبق ظهور قيود فسيولوجية داخل العضلات. ما لم تكن لديهم دوافع عالية ، فإن معظم الأفراد ينهون التمرين قبل أن تستنفذ عضلاتهم الفسيولوجي. لتحقيق أعلى مستوى من الأداء، يتدرب الرياضيون على تعلم السرعة المناسبة ومقاومة التعب.

Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kenney, Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, 5th ed, USA, 2008

الألم العضلى: Muscle Soreness

هو الألم الذي يحدث بالعضلات عقب أداء تدريبات مرتفعة الشدة ويظهر خلال المراحل الأخيرة من أداء المجموعات التدريبية أو خلال فترة 12 – 48 ساعة من انتهاء التدريب.

وترجع أسباب الالم العضلي إلى عوامل تتعلق بالتلف البنائي الذي يحدث للنسيج العضلي نتيجة أداء التدريبات الشاقة وزيادة ضغط السوائل بالأنسجة العضلية التي تنتقل إليها بواسطة الدم وتراكم مخلفات التمثيل الغذائي بالعضلة.

التقلص العضلى، Muscle Cramp

هو عبارة عن زيادة في توتر العضلة يؤدي إلى انقباضها المفاجئ بقوة عالية يصاحبها تقلص وألم شديد. وقد يحدث التقلص العضلي أثناء الراحة الكاملة أو النوم كما قد يحدث عند مزاولة الرياضة، وغالبا ما تعزى

أسباب التقلص العضلي إلى عوامل تتعلق بنشاط الدورة الدموية المغذية للعضلة، أو نتيجة الإجهاد عقب أداء التدريبات البدنية العنيفة التي لم تتعود عليها العضلة، كما يحدث التقلص العضلي نتيجة نقص أو فقد الأملاح أو الماء أو كليهما، مثلما هو الحال عند التدريب في الأجواء الحارة وفقد كمية كبيرة من العرق، وبالنسبة لتكرار حدوث التقلص العضلي خلال فترات الراحة أو النوم فإن ذلك يعزى – في الغالب – إلى نقص الأملاح في الغذاء وخاصة كلوريد الصوديوم. ويتم إسعاف وعلاج حالات التقلص العضلي بواسطة مط أو إطالة العضلة (فك العضلة) مع استخدام التدليك وتنشيط الدورة الدموية و تمرينات المطاطية والعناية بالتغذية المتكاملة العناصر، وقد تستخدم العلاجات الدوائية كالأسبرين أو مضادات الالتهاب أو الأدوية المرخية للعضلات مثل الكولترامیل والدانتريم وغيرها.

فيسيولوجيا الرياضة نظريات وتطبيقات، احمد نصر الدين سيد، دار الفكر العربي، القاهرة، 2003

نوع النشاط والتعب العضلي

يؤثر نوع المشاركة في نشاط معين بشكل كبير على الآلية الأكثر احتمالًا للتعب لهذا النشاط.

تعتمد الأنشطة التي يتم تنفيذها في أعباء عمل معتدلة بشكل حصري تقريبًا على الالياف البطيئة المؤكسدة SO لانتاج ATP ، نتيجة لذلك لا تزيد مستويات حمض اللبن بشكل كبير خلال هذه الأنشطة. السبب الأكثر احتمالا للتعب هو استنفاد مخزون الجليكوجين، مما يؤدي إلى التعب المحيطي.

– أثناء الأنشطة المطولة التي يتم تنفيذها بشدة عالية بما يكفي لتوظيف الالياف الوسيطة FOG، كمية كبيرة من حمض اللبن تتشكل، في هذه الحالة من المحتمل أن تكون المستويات العالية من الـــ H^+ هي سبب التعب.

– بالنسبة للأنشطة المتزايدة إلى الحد الأقصى والتي تنطوي على تجنيد جميع أنواع الالياف العضلية حسب الترتيب SO ، FOG، و FG وفق شدة الجهود المتزايدة. جميع الآليات المذكورة أعلاه تلعب على الأرجح دور في التعب خلال هذا النوع من التمارين. علاوة على ذلك، قد يتعذر على نظام القلب والأوعية الدموية توفير إمداد الدم إلى العضلات العاملة الكافية لدعم إنتاج الطاقة الهوائية.

– تمارين المقاومة الديناميكية يمكن ان تؤدى بعدد قليل جدا من التكرارات، يتم خلالها توظيف الالياف السريعة. ومن المرجح أن التعب راجع بالأساس الى نضوب الكرياتين فوسفات. بينما لو كانت تؤدى بعدد كبير من التكرار أو حجم إجمالي كبير من العمل، من المحتمل أن يكون سبب التعب هو تراكم H^+.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

المسببات والآليات

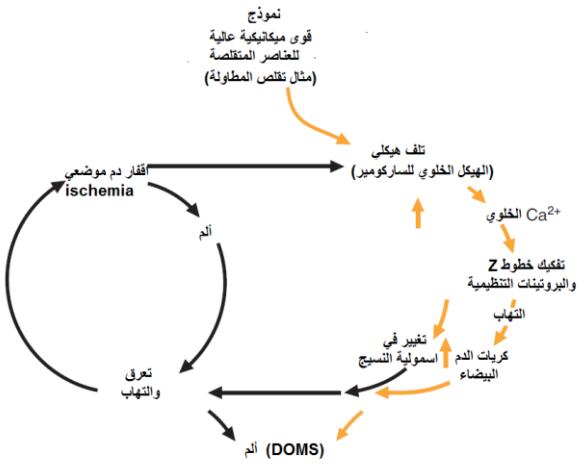
يجمع النموذج الأكثر ترجيحًا لتفسير DOMS بين ثلاث نظريات على الأقل: الصدمة الميكانيكية mechanical trauma ، وتلف العضلات، ونظريات الالتهابات.

– نشاط عالي القوة غير معتا ، خاصة أثناء تقلص التطويل eccentric، يسبب اضطرابًا في البروتينات الهيكلية في الالياف العضلية، خاصة على طول الخطوط Z . في الوقت نفسه، يحدث تلف في النسيج الضام عند تقاطع وتر العضلات.

– الأضرار التي لحقت بساركوما الخلية يؤدي إلى تراكم الكالسيوم، والذي بدوره يمنع إنتاج الـــ ATP ويسبب اضطراب في توازن الكالسيوم. (تذكر أن هناك حاجة للـــ ATP لإعادة الكالسيوم إلى مواقع التخزين الخاصة به) تركيزات الكالسيوم عالية تؤدي إلى مزيد من التدهور في خطوط Z ، التروبونين ، والتروبوميوسين ونخر الأنسجة.
– الضرر الهيكلي يبدأ في الالتهابات وتفعيل الجهاز المناعي. ينتقل السائل إلى العضلات ويسبب تورمًا (وذمة edema)

– تراكم المنتجات الثانوية والحطام الناجم عن الوفيات الخلوية واستجابة الجهاز المناعي فيها بالإضافة إلى زيادة الضغط من الوذمة في نهاية المطاف تحفز النهايات العصبية الألم. أحد المفاهيم الخاطئة الشائعة عن الم العضلات هو أنها ناتجة عن تراكم حمض اللبن. توجد أدلة بحثية بما في ذلك حقيقة أن الأفراد المصابين بمتلازمة مكاردل McArdle’s syndrome ، الذين لا ينتجون حامض اللبن، يعانون أيضًا من الم العضلات في ضد حمض اللبن، كذلك فانه من الملاحظ أن نوع النشاط الذي ينتج أكبر درجة من وجع، الانقباضات eccentric ، ينتج مستويات أقل من حامض اللبن من تقلصات concentric من نفس انتاج الطاقة. وربما يكون الدليل الأكثر إقناعًا هو أن عمر الحامض اللبن يتراوح من 15 إلى 25 دقيقة ويتم تصريفه بالكامل من العضلات خلال ساعة. لأن حمض اللبن غير موجود بمستويات مرتفعة بعد 24–48 ساعة ، فإنه لا يمكن أن يسبب وجعًا.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011



شكل يوضح نموذج مدمج لشرح الالم العضلي

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

تأثير التدريب الرياضي والتكيفات في الجهاز العضلي

إن ارتفاع شدة الجهد المسلط على الأجهزة الجسمية أثناء النشاطات الرياضية يتطلب تكيفات وظيفية قصوي بحيث يناسب القدرات الحركية، فزيادة الجهد يتطلب رفع الشحنة العصبية لمواجهة الإنجاز الرياضي، و أن النشاط العضلي يعبر عن نتائج وظائف متعددة الجوانب في تبادل المواد سواء في العضلة أو في الجهاز العصبي. ويمكن حصر أهم التغيرات التي تحدث العضلة نتيجة التدريب ما يأتي:

1- التغيرات البيوكيمياوية

وتشمل مايأتي:

- زيادة كمية بروتين العضلة (المايوسين) الذي يملك صفة الانزيم ويعمل في تحليل فوسفات الإدنوزين، وهذا يعني توليد الطاقة الكيمياوية التي تتحول إلى طاقة ميكانيكية (تخدم عملية الانقباض والانبساط العضلي).

– زيادة احتياطي الطاقة (ATP و CP) وكذلك الجليكوجين والدهون تحت تأثير التدريب الرياضي وخاصة في العضلات المشاركة مما يجعل العضلة المدربة أقل اعتمادا على الدم للحصول على الطاقة.

– زيادة وزن العضلة مما يزيد من كمية الـــ ATP وليس تركيزه في العضلة.

– زيادة ميوجلوبين العضلة الذي ينقل الاكسجين مما يعني زيادة الاحتياطي في العضلة المدربة حيث يستخدم لسد النقص الحاصل نتيجة التدريب الشديد.

– زيادة أيونات الكالسيوم والمغنسيوم الضروري في استثارة عمل الانزيمات في العضلة وتقوم أيونات الكالسيوم بتنشيط الـــ ATP المحيط في العضلة.

2- التغيرات البنائية

وتشمل ما يأتي:

– زيادة كمية الليفات داخل الليفة العضلية وتغير وظيفتها وتبديل النواة وشكل نهايات الأعصاب.

– تغير وتوسيع الأوعية الدموية الشعرية، مما يؤدي إلى تمويل العضلة بالدم بشكل كاف يسهل توصيل الأكسجين ومصادر التغذية العضلية.

– زيادة كمية وحجم الميتوكوندريا.

– زيادة سرعة وقوة الانقباضات العضلية، بسبب التغيرات البيوكيميائية في العضلة، كما يبقى الـــ ATP بشكل متوازن مما يزيد من مطاولة العضلة. واكتساب القوة والسرعة والمطاولة الحركية.

– تحصل تغيرات في العضلة حسب نوع التدريب حيث تؤدي تدريبات القوة إلى زيادة قوة أوتار العضلات ومنشأها ومدغمها عند الأشخاص ذوي الأوزان الخفيفة والذين يتميزون بألياف غير سميكة و أوتار عضلية طويلة، كذلك تتضخم العضلة عند ازدياد القوة.

سميعة خليل محمد امين، مبادئ الفيسيولوجيا الرياضية، بغداد، 2008

مبادئ تدريب المقاومة والتكيف العضلي

التدريب على المقاومة هو برنامج منهجي للتمارين التي تنطوي على ممارسة القوة ضد الحمل بهدف تطوير القوة والتحمل و/ أو تضخم الجهاز العضلي.

التكيفات العصبية-عضلية لتدريب المقاومة

وظيفة العضلات

ممارسة التمرينات تؤدي إلى زيادة القوة العضلية والتحمل والقوة. زيادة القوة هي الأكثر نتيجة واضحة لبرنامج تدريب المقاومة وسبب مشاركة العديد من الأفراد في تدريب المقاومة.

تختلف مكاسب القوة بعد برنامج تدريب المقاومة على نطاق واسع، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى الاختلافات في القوة الأولية والبرنامج التدريبي. يعمل التدريب على المقاومة مرتين على الأقل في الأسبوع على تحسين قوة العضلات وتحملها بنسبة تتراوح ما بين 25 إلى 100٪ تقريبًا (Haskell et al. ، 2007). تعتمد زيادة قوة العضلات من برنامج تدريب المقاومة على تدريب المقاومة الخاص برنامج والمجموعة العضلية المدربة

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

حجم العضلات وبنيتها

تدريب المقاومة يزيد من حجم العضلات وقوتها. الزيادة في المنطقة المستعرضة cross-sectional area (CSA) من تؤثر العضلات الكاملة على زيادة في مساحة المقطع العرضي للعضلات الفردية. تنتج المنطقة المستعرضة المتزايدة للعضلة عن تضخم في جميع أنواع الالياف الثلاثة، يبدو أن الالياف السريعة تسجل (FG) أكبر زيادة . يرجع التضخم إلى زيادة في البروتين التقلص (الأكتين والميوسين). التدريب على المقاومة يؤدي إلى تحويل الالياف الوسيطة FOG إلى الياف سريعة FG . يمكن أن يؤدي تدريب المقاومة نظريًا إلى زيادة في عدد الالياف hyperplasia و يحدث نتيجة انشقاق العضلات أو تشعبها مع تضخم لاحق أو تكوين عضلي myogenesis، أو مزيج من الاثنين. ومع ذلك، فإنها غير معروفة نسبيًا بسبب صعوبات القياس. ينتج تدريبات المقاومة زيادة تخليق الكولاجين وتقوية النسيج الضام حول العضلة. ومع ذلك، فإن نسبة النسيج الضام إلى العضلات والهيكل العظمي تبقى ثابتة نسبيا بين الأفراد المدربين وغير المدربين. هناك أيضًا دليل على زيادة تصلب الأوتار من خلال التدريب على المقاومة.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

التكيفات العصبية

عمومًا يمكن الحديث عن تكيفات عصبية لها دور حاسم في زيادة إنتاج القوة الناتجة عن التدريب على المقاومة، إلا أنها ليست مفهومة تمامًا. ويعزى ذلك إلى حد كبير إلى الصعوبات المنهجية المرتبطة بقياس التكيفات العصبية. فمكاسب القوة يمكن أن تتحقق دون تغييرات هيكلية في العضلات ولكن ليس من دون التكيفات العصبية. وبالتالي، فإن القوة ليست مجرد خاصية للعضلات. بدلا من ذلك، إنها خاصية للنظام الحركي. يعد تجنيد الوحدة الحركية، وتكرار التنبيه، وعوامل عصبية أخرى مهمة أيضًا لتحقيق مكاسب القوة. تؤدي برامج تدريب المقاومة عادةً إلى زيادة القوة خلال الأسابيع القليلة الأولى على الرغم من التغييرات المتواضعة في كتلة العضلات، مما يشير إلى أن العوامل العصبية مسؤولة إلى حد كبير عن مكاسب القوة المبكرة.

تزامن وتوظيف وحدات المحرك الإضافية يتم تجنيد الوحدات الحركية بشكل عام بشكل غير متزامن. لا يتم تجنيدهم جميعا في نفس الوقت. يتم التحكم فيها بواسطة عدد من الخلايا العصبية المختلفة التي يمكن أن تنقل إما الدافع المثير أو المثبط. يتم تنشيط الوحدة الحركية فقط عندما تتجاوز النبضات الإثارة الواردة النبضات المثبطة ويتم استيفاء العتبة أو تجاوزها.

قد تنجم مكاسب القوة عن تغيرات في الروابط بين الخلايا العصبية الحركية الموجودة في النخاع الشوكي، مما يسمح للوحدات المتحرك بالتصرف بشكل أكثر تزامنًا، مما يسهل التقلص. هناك أدلة تثبت زيادة تزامنية وحدة المتحرك مع تدريب المقاومة، ولكن لا يزال هناك جدل حول ما إذا كان تزامن تفعيل وحدة المحرك ينتج تقلص أكثر قوة. ومع ذلك، فمن الواضح أن التزامن يعمل على تحسين معدل تطور القوة.

زيادة معدل تجنيد الوحدات الحركية يمكن أن تؤدي الزيادة في الدافع العصبي للخلايا العصبية الحركية α أيضًا إلى زيادة تواتر تجنيد الوحدات الحركية، هناك أدلة محدودة على ذلك مع تدريب المقاومة. يبدو أن التدريب السريع على الحركة أو تدريب البالستيين فعال بشكل خاص في حفز الزيادات في تشفير المعدل. **تثبيط التولد الذاتي Autogenic Inhibition** قد تكون الآليات المثبطة في الجهاز العصبي العضلي، مثل عضو جولجي، ضرورية لمنع العضلات من ممارسة المزيد من القوة أكثر من طاقة العظام والأنسجة الضامة. يشار هنا إلى السيطرة على التثبيط الذاتي المنشأ. إن وظيفة عضو جولجي هي عندما يتجاوز التوتر على أوتار العضلات وهياكل الأنسجة الضامة الداخلية عتبة أعضاء جولجي، يتم تثبيط الخلايا العصبية الحركية لتلك العضلات؛ وهذا هو تثبيط المنشأ، تشكيل شبكي في جذع الدماغ والقشرة الدماغية وظيفة لبدء

ونشر النبضات المثبطة. التدريب يمكن أن تقلل تدريجيا هذه التنبيهات المثبطة، والسماح للعضلات للوصول إلى مستويات أكبر من القوة. وبالتالي، يمكن تحقيق مكاسب القوة عن طريق تقليل التثبيط العصبي.

Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kenney, Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, 5th ed, USA, 2008

التكيفات الأيضية

بالإضافة إلى زيادة القوة والتضخم، تحدث تكيّفات أيضية داخل العضلات التي تزيد قدرة العضلات على توليد ATP تتميز هذه التغييرات بزيادة القدرة على توليد ATP من الأيض اللاهوائي؛ وبالتالي، هناك زيادة في مخازن الفسفوكرياتين (PC) وجليكوجين وزيادة في الإنزيم (الكرياتين فسفوكيناز) الذي يفكك PC.

التكيفات الهرمونية

ممارسة المقاومة تؤدي إلى حالة تقويضية حيث يتم تكسير البروتينات العضلية. أثناء الاسترجاع يسود البناء، مما يؤدي إلى إصلاح العضلات والنمو. هذه العملية المزدوجة من الهدم والبناء هي المسؤولة عن إعادة بناء الأنسجة العضلية استجابة لتدريب المقاومة. كثير من عمليات البناء والهدم يتم التحكم فيها عن طريق نظام الغدد الصم، مع العديد من الاستجابات الهرمونية الحادة لممارسة المقاومة. في المقابل، فإن التدريب على المقاومة يسبب تكيفات هرمونية قليلة نسبيًا.

الدراسات المنشورة ليست متسقة حول التأثير الدائم لتدريب المقاومة على مستويات الراحة لهرمون تستوستيرون.
ذكرت العديد منها ارتفاع مستويات الراحة لهرمون تستوستيرون، في حين أن أخرى نفت أي تغيير في مستويات الراحة من هرمون تستوستيرون. وبالمثل، مع تأثير تدريب المقاومة على مستويات الراحة للكورتيزول. يبدو أن التدريب على المقاومة لا يغير تركيز هرمون النمو. تشير الدلائل، مع ذلك، إلى أن التدريب على المقاومة يؤدي إلى زيادة مستوى الراحة لعامل النمو الذي يشبه الأنسولين (IGF-1) .

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

إجابات الغدد الصماء للتدريب القوي نظام الغدد الصماء هو المفتاح لكثير من جوانب الزيادات التي يسببها التدريب في القوة. بشكل عام، تهيمن التغيرات العصبية العضلية على التحسينات المبكرة في القوة. فيما يتعلق بالنمو عند البلوغ، يلعب هرمون التستوستيرون وهرمون النمو دورًا رئيسيًا. من حيث تضخم

العضلات، يعمل هرمون التستوستيرون كهرمونات ستيرويد كلاسيكية. نظرًا لكونه مرتكزًا على الدهون، ينتشر التستوستيرون بسهولة عبر الغشاء الدهني ثنائي الطبقة للخلية وبالتالي فهو قادر أيضًا على الانتشار من خلال غشاء نواة الخلية. تتفاعل هرمونات الستيرويد مع مستقبلات في النواة وتشجع على تكوين وبناء المزيد من العضلات. هرمون النمو هو هرمون الببتيد. له تأثير مباشر بسيط على تخليق بروتين خلايا العضلات. ومع ذلك، هرمون النمو ليس له سوى دور غير مباشر في تضخم العضلات. هرمون النمو يتفاعل مع مستقبلات غشاء الكبد لتحفيز إطلاق IGF-1 من الكبد الذي يعتبر البادئ الأكثر أهمية في تضخم العضلات. في الآونة الأخيرة ، تبين أن IGF-1 يحتوي على عدد من بدائل اللصق، ويتم إنتاج IGF-1 في الكبد وفي العضلات. في الوقت الحالي، يُقترح إعادة تسمية IGF-1 المشتقة من العضلات باسم "عامل النمو الميكانيكي " (MGF)تقديراً لحقيقة أن التحفيز الرئيسي هو تقلص العضلات في حد ذاته. فيما يتعلق بهرمون النمو (GH)فقد ظهر مؤخرًا تأثير مباشر أكثر على العضلات. يبدو أن هرمون النمو يثبط بشكل مباشر البروتين العضلي السوماتوستاتين. يعمل السوماتوستاتين عادة على تثبيط نمو العضلات وبالتالي ضمان ألا يتجاوز نمو العضلات ما هو مطلوب وظيفيًا. عن طريق تثبيط السوماتوستاتين GH يسهل مباشرة تضخم العضلات.

التكيفلت العضلية لبرامج التدريب على الطاقة الهوائية

تستجيب عضلات العضلات بشكل مختلف للتدريب الهوائي مقارنةً بتدريب المقاومة. يتميز التدريب الهوائي عن طريق زيادة القوة الهوائية (VO2max) مع تغيير طفيف أو معدوم في قوة العضلات أو القوة. وبالمثل، فإن التغييرات الهيكلية والتمثيل الغذائي في عضلات العضلات تسهل إنتاج كميات كبيرة من الـــ ATP ، في المقام الأول عن طريق الوسائل الهوائية، في أعقاب برنامج التدريب الهوائي وبالتالي تعزيز القدرة على التحمل العضلي. النتائج الهوائية التدريب على التحمل زيادة في حجم الالياف البطيئة لدى الذكور البالغين ولا تغيير في حجم الالياف السريعة، هناك أيضًا دليل على تحويلها إلى الياف وسيطة.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

التكيفات العضلية للتدريب المتزامن

تتطلب العديد من الألعاب الرياضية مزيجًا من القوة العضلية والتحمل الهوائي، وبالتالي يلزم الجمع بين المقاومة والتدريب على التحمل الهوائي لتحسين الأداء. هذا التدريب يتم على مستويات عالية في الوقت نفسه، غالبًا في نفس اليوم، يُسمى التدريب المتزامن **concurrent trainin** . إن أكثر النتائج اتساقًا من دراسات التدريب المتزامن هي أن الزيادات في القوة والقدرة تكون أقل مع التدريب المتزامن من تدريب القوة وحده، لكن التغييرات في اللياقة الهوائية تشبه تلك الموجودة في التدريب الهوائي. ومع ذلك، نتائج البحث ليست متسقة حيث أظهرت دراسات أخرى أن التدريب المتزامن ليس له أي تأثير مثبط على تطوير القوة أو التحمل الهوائية.

تم اقتراح عدة آليات لشرح التثبيط الأكثر شيوعًا لتثبيط القوة أثناء التدريب المتزامن.

For Health, Fitness, Sharon A. Plowman, Denise L. Smith, Exercise Physiology And Performance, Lippincott Williams & Wilkins, 3rd ed. , USA, 2011

التكيفات في العضلات مع التدريب اللاهوائية

مع التدريب اللاهوائي، والذي يتضمن تدريب العدو والتدريب على المقاومة، هناك تغييرات في الهيكل العظمي

العضلات التي تعكس على وجه التحديد تجنيد ألياف العضلات لهذه الأنواع من الأنشطة، في الشدة الأعلى، يتم تجنيد ألياف العضلات من النوع الثاني إلى حد كبير، ولكن ليس بشكل حصري، لأن تجنيد النوع الأول يستمر. بشكل عام، تستخدم أنشطة العدو والمقاومة ألياف العضلات من النوع الثاني بشكل كبير أكثر من الأنشطة الهوائية وبالتالي، فإن كلا من الالياف السريعة و الوسيطة يسجلان زيادة في مناطقهم مستعرضة، يتم أيضًا زيادة مساحة المقطع العرضي للألياف من النوع الأول ولكن عادةً ما تكون أقل مدى. علاوة على ذلك، مع تدريب السرعة، يبدو أن هناك انخفاض في نسبة الألياف من النوع الأول و زيادة في النسبة المئوية للألياف من النوع الثاني، مع أكبر تغير في ألياف النوع الثاني.

Jack H. Wilmore, David L. Costill, W. Larry Kenney, Physiology of sport and exercise, Human Kinetics, 5th ed, USA, 2008