الجمهورية الجزائرية الشعبية الديمقراطية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة محمد بوضياف –بالمسيلة–

معهد علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية

قسم النشاط البدني المكيف

المستوى: سنة ثانية ليسانس

مقياس: فسيولوجيا الجهد البدني

المحاضرة الخامسة:
التكيفات الفسيولوجية للأنسجة العضلية المصاحبة للأنشطة

أستاذ المقياس: د. خليل بورنان

السنة الجامعية: 2020-2021

المحاضرة الخامسة:

التكيفات الفسيولوجية للأنسجة العضلية المصاحبة للأنشطة البدنية

تكيفات الجهاز العضلي للجهد البدني

مقدمة :

يؤدي التدريب الرياضي إلى إحداث مجموعة من التكيفات على الجهاز العضلي، حيث تظهر تغيرات خاصة بتدريب القوة والتحمل وهذا ما يجعلنا نتطرق في هذا الفصل إلى دراسة مختلف أنواع الألياف العضلية وصولا إلى أسباب التضخم والضمور العضلي .

1- العضلة الهيكلية والتمرين البدني (muscle squelettique et l'exercice physique):

تختلف الألياف العضلية عن بعضها البعض، بحيث تحتوي العضلات المخططة على نوعين من الألياف، (الألياف البطيئة ST slow-twitch و (الألياف السريعةFT fast-twitche)، كما يمكن تقسيم الألياف العضلية السريعة إلى مجموعة من الألياف الأخرى و هي .Fta , FTb, FTc

الألياف العضلية البطيئة تتميز بلون داكن أما الألياف العضلية من النوع FTa ليس لها لون ، FTb ذات لون رمادي ، الفرق الموجود بين الألياف العضلية السريعة الثلاثة ليس محدد بدقة ولكن تعتبر الألياف من النوع FTa الأكثر استخداما ، ولكن تبقى الألياف البطيئة الأكثر استخداما من الألياف السريعة . أغلب العضلات تحتوي على 50 % من الألياف البطيئة ، 25 %من الألياف FTa، 25 % من الألياف FTc أما الألياف من النوع FTc لا تمثل سوى 1 أو 3 %من العضلة .

1-1 خصائص الألياف العضلية السريعة والبطيئة (FT et ST):

بما أنه يوجد أنواع مختلفة من الألياف العضلية لابد من البحث عن الدور والنشاط البدني لكل نوع ومن أجل الفهم يجب المقارنة بين هذه الأنواع.

1-1-1 أنزيم ATPase:

سرعة التقلص هي التي تفرق بين الألياف البطيئة والسريعة بحيث يحتوي كل نوع على شكل مختلف لأنزيم ATP ase و هو المسئول عن تحفيز هدم الـ ATP الذي يسمح بتوفير الطاقة اللازمة للتقلص العضلي أو الاسترخاء ، تحتوي الألياف البطيئة على شكل بطيء لأنزيم ATP ase أما الألياف السريعة تحتوي على شكل سريع لهذا الأنزيم . و استجابة للتنبيه العصبي يهدم الـ ATP بسرعة في الألياف السريعة على الألياف البطيئة .

2-1-1 الشبكة الاندوبلازمية (Le réticulum sarcoplasmique):

تحتوي الألياف العضلية من النوع FT على شبكة أند وبلازمية أكثر تطورا من تلك الموجودة في الألياف العضلية ST، كما تعتبر الألياف FT أحسن تكيف من أجل تحرير كالسيوم الشبكة الاندوبلازمية أثناء تنبيه العضلة هذا ما يسمح بتقلص سريع للألياف من النوع FT و بالنسبة للإنسان تتميز هذه الألياف بسرعة تقلص 5 إلى 6 مرات على الألياف ST، و بالنسبة للقوة المطبقة من طرف الألياف العضلية FT أكثر أهمية من 3 إلى 4 مرات من تلك المطبقة في الألياف ST، و هذا ما يفسر للأشخاص الذين يملكون ألياف عضلية من النوع FT في الجزء السفلي بكثرة نجدهم يتميزون بسرعة أكبر من الذين يتمتعون بألياف من النوع ST.

2-1-1 الوحدات الحركية (Les unité motrice):

نذكر بأن الوحدة الحركية تتكون من عصبون حركي وألياف عضلية، في الألياف العضلية البطيئة ST يكون حجم الجسم الخلوي في العصبون الحركي صغير حيث ينبه حوالي مجموعة من الألياف تصل من 10 إلى 180 ليف والعكس بالنسبة للألياف السريعة FT في الوحدة الحركية للعصبون الحركي يكون الجسم الخلوي أكبر حجما مع محور أكثر عرضا بحيث يحرض حوالي 300 إلى 800 ليف عضلي .

جدول رقم (02) : المقارنة بين الألياف العضلية البيضاء و الحمراء .

الألياف العضلية من النوع (I) slow (twitch, ST)	الألياف العضلية من النوع (II) السريعة , (Fast twitch FT)
تقلص بطيء .	تحتوي على عدد كبير من الليفات.
لون أحمر.	الشبكة الاندوبلازمية أكثر تطورا والساركوبلازم أقل حجما
تحتوي على مساحة كبيرة من الساركوبلازم.	تحتوي تقريبا على حجم مماثل للجليكوجين مثل ما هو عليه في الألياف من النوع (I) وتفتقر إلى ثلاثي الغليسريد.
محتوى الليفات العضلية يكون ضعيف .	التطور الجيد للشبكة الاندوبلازمية يسمح بتحرير كميات كبيرة من الكالسيوم .
الشبكة الاندوبلازمية أقل تطورا.	تكوين و تشكيل سريع و قوي للمعقد أكتين ميوزين.
نشاط أنزيم ATPase ضعيف .	تتميز بصغر حجم الميتوكوندريا .
قدرة ضعيفة في نقل الكالسيوم.	عمليات التمثيل الهوائي تكون ضعيفة .
تحتوي الساركوبلازم على عدد كبير و ضخم من الميتوكوندريا	لا تقاوم التعب مثل ما هو عليه الحال في الألياف البطيئة (ST).
تكون غنية بالجليكوجين العضلي و الثلاثي غليسريد	تحتوي على نوع سريع لأنزيم (ATP ase).

لديها إمكانيات كبيرة في عمليات الفسفرة التأكسدية.	الجسم الخلوي للوحدات الحركية يتميز بكبر الحجم بحيث يحفز حوالي 800 ليف عضلي
تحتوي على كميات كبيرة من الهيموجلوبين.	تتميز هذه الألياف بتروبونين سريع العمل.
تكون هذه الألياف غنية بشبكة كبيرة من الشعيرات الدموية.	
تحتوي على نوع بطيء لأنزيم ATP ase.	
تحتوي الوحدات الحركية على جسم خلوي صغير الحجم .	
يحرض الجسم الخلوي من 10 إلى 180 ليف عضلي.	

جدول يوضح المقارنة بين الالياف العضلية من النوع IIa و IIb.

الألياف العضلية من النوع (IIa)	**الألياف العضلية من النوع (IIb)**
عدد كبير من الميتوكوندريا.	عدد محدد للميتوكوندريا.
الساركوبلازم غني بالجليكوجين و تحتوى على كميات من الميوقلوبين	تفتقر الساركوبلازم للهيموجلوبين و لكنها غنية بالجليكوجين.
عمليات الهدم و البناء فيها تأكسدية و لكن أقل مما هو عليه في الألياف البطيئة **(ST).**	العمليات الايضية للجليكوليز اللاهوائي هي الآلية الرئيسية لتوفير الطاقة.
تقوم بعمل مهم و كبير في الآلية اللاهوائية اللبنية (الجلكزة اللاهوائية).	النشاط الهوائي ضعيف جدا.
لها خاصية بيوكيميائية و إمكانية مقاومة التعب.	
تعمل عمل الألياف العضلية السريعة و البطيئة (مختلطة العمل).	

2- تحفيز الألياف العضلية (Recrutement des fibres musculaire):

عندما يحفز العصبون الحركي ليف عضلي بشدة صغيرة للتنبيه تسمى هذه الحالة عتبة التنبيه وهو مهم من أجل تحريض الاستجابة وإذا كانت شدة التنبيه ضعيفة أي أقل من العتبة لا توجد عملية تقلص عضلي وعلى العكس من أجل كل تحريض أو تنبيه يفوق أو يساوي العتبة تحدث عملية تقلص قصوى على مستوى الليف العضلي وهذا ما يفسر بقانون الكل أو لا شيء ، ومثل كل الألياف العضلية لنفس الوحدة الحركية تستقبل نفس التنبيه العصبي بحيث تتقلص كل الألياف إذا كان التنبيه في مستوى العتبة وبالتالي تخضع الوحدة الحركية لقانون الكل أو لا شيء .

1-2 نظام ونسق تحفيز الألياف العضلية ومبادئ الحجم Ordre de recrutement des fibres musculaires et principe de taille:

تحفز الألياف العضلية ذات عصبون حركي صغير أولا ، وهذا ما يلاحظ عند أداء جهد بدني بشدة متصاعدة ، الوحدات الحركية للألياف من النوع ST تحفز أولا وهذا راجع لتوضع لعصبونات حركية ذات حجم صغير ، وإذا تطلبت القوة زيادة عدد الوحدات الحركية تستخدم الألياف من النوع FT .

و عند أداء جهد بدني بشدة ضعيفة مثل المشي عن تطبق عملية التقلص عن طريق الألياف البطيئة ST و عند تطلب زيادة الجهد والشدة العضلية تتدخل الألياف العضلية من النوع FTa ، وإذا ما ارتفعت شدة الجهد البدني مثل السرعة القصوى تتدخل الألياف العضلية السريعة FTb.

حتى عند الوصول إلى الجهد البدني الأقصى لا يحفز الجهاز العصبي100 % كل الألياف المتاحة حتى إذا تطلب ذلك زيادة في إنتاج أكثر قوة، مجموعة فقط من الألياف هي التي تنبه، مما يسمح بحماية العضلة من التمزقات و الالتهابات الوترية، وإذا حدث ما إن تقلصت كل الألياف العضلية تؤدي هذه القوة إلى تمزق العضلة والأوتار .

التضخم العضلي (L'hypertrophie musculaire):

هناك نوعان من التضخم العضلي التي يمكن أن نلاحظها وهي :

1-تضخم وقتي أو انتقالي (Hyper trophie transitoire):

تتمثل عملية التضخم هذه في زيادة حجم العضلة عند أداء تمرين فردي ، حيث يحدث رئيسيا دخول السوائل أو الماء في الوسط البين خلوي للعضلة هذا السائل يأتي من الوسط البلازمي ، وهذا ما يطلق عليه بعملية التضخم الانتقالية بحيث تبقى لمدة قصيرة ، هذا السائل يدخل إلى الأوعية الدموية بعد ساعات من التدريب .

2- تضخم مستمر و مزمن (Hyper trophie chronique):

و يتمثل هذا التضخم في زيادة حجم العضلة بعد مدة من التدريب المستمر والطويل بحيث يلاحظ تحولات بنيوية في العضلة ، عن طريق زيادة عدد الألياف العضلية أو زيادة حجم هذه الألياف.

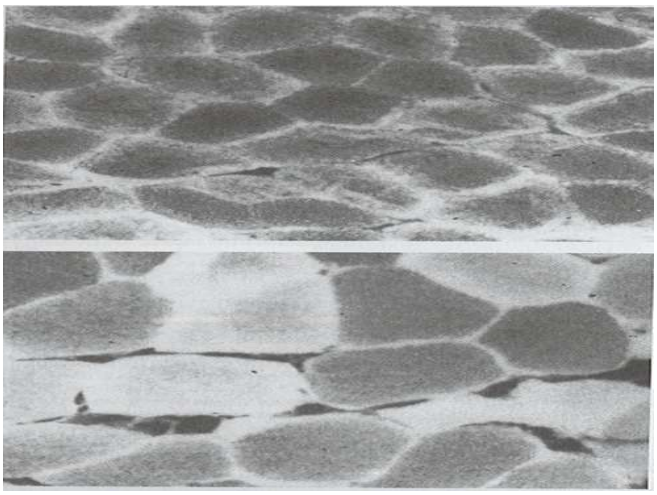
تضخم الألياف العضلية (Hypertrophie des fibres musculaire) :

يفسر تضخم العضلة رئيسيا إلى العوامل التالية :

- زيادة عدد الليفات العضلية
- زيادة عدد خيوط الاكتين و الميوزين
- زيادة الحجم الساركوبلازمي
- زيادة في النسيج الضام

- تدخل عوامل أخرى مختلفة

شكل يوضح حدوث تضخم النسيج الضام البيني .



إن التدريب الرياضي المرتفع الشدة للقوة يمكن أن يرفع بطريقة واضحة مساحة وعرض الألياف العضلية بحيث يحدث هذا التضخم بزيادة عدد الألياف العضلية وعدد خيوط الأكتين والميوزين و هذا ما يزيد من إمكانية تشكيل المعقد أكتين ميوزين و بالتالي الرفع من قوة التقلص القصوى .

ينتج التضخم العضلي من تدريب القوة وهذا بزيادة تصنيع و تركيب البروتين في العضلة، و عند أداء التمرينات آليات تصنيع البروتين تنخفض و على العكس آليات الهدم ترتفع، تنعكس هذه العملية في فترات الراحة حيث يزداد تصنيع البروتينات .

❖ **يحدث تضخم الألياف العضلية في شكلين متزامنين :**

❖ **زيادة كثافة الألياف العضلية :**

- ✓ يظهر من خلال زيادة عدد خيوط الأكتين والميوزين بتصنيع متزايد للبروتينات التقلصية
- ✓ تتراكم الخيوط الجديدة في محيط الليفات العضلية الموجودة
- ✓ زيادة عدد الليفات في الليف العضلي وهذا ما يرفع من حجمه.

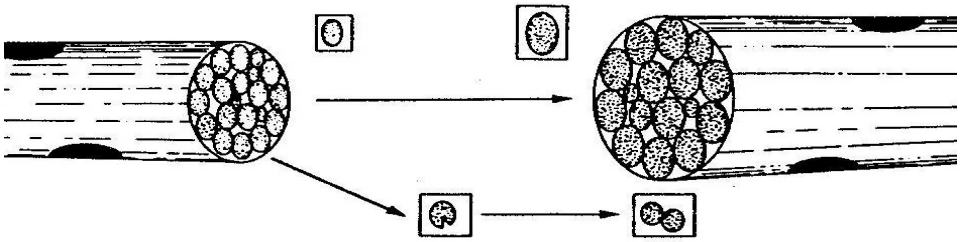
❖ **زيادة المساحة المربعة للعضلة:**

بعد 6 إلى 12 أسبوع ، الألياف العضلية تتسع مساحتها وبذلك تتضخم العضلة. عدد الوحدات التقلصية (sarcomère) في الليفات العضلية يرتفع في شكل سلسلة أو بطريقة متوازية على حسب الوحدة التقلصية الموجودة ، غير أن زيادة عدد الوحدات التقلصية بالتوازي يعتبر العامل الوحيد الذي يرفع من القوة القصوى، حيث أن تركيز الليفات يرتفع مما يطور القدرة على تطبيق قوة أكبر وأكثر، أما بالنسبة لزيادة عدد الوحدات في شكل سلسلة يؤدي إلى تطوير السرعة .

ب- زيادة تضخم الساركوبلازم :

تحاط الألياف العضلية المخططة بغشاء رقيق مطاطي الذي يحتوي على الساركوبلازم الغنية بالماء بحيث تكون بشكل أحمر نظرا لوجود الهيموجلوبين، الذي يرتفع حجمه مع متطلبات التدريب في وجود الميتوكوندريا ، يعمل التدريب الهوائي على تطوير الألياف العضلية الحمراء هذا يعمل على زيادة تركيز الهيموجلوبين و تطور حجم الميتوكوندريا، يأخذ هذا التطور في الحجم الساركوبلازم و هنا ما يجعلنا نتحدث عن تضخم الساركوبلازم .

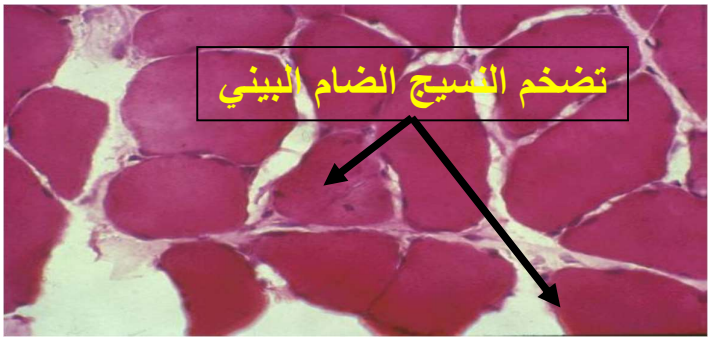
شكل يوضح تضخم الليف الضلي بزيادة عدد الليفات العضلية .



ج- تضخم النسيج البيني للألياف العضلية (Une hypertrophie du tissu conjonctif):

يزداد عرض ومساحة النسيج البيني في العضلة والذي يعتبر نوع من أنواع النسيج الضام (الفجوي أو الخلالي) كما يساهم في الكمال البنيوي والوظيفي للأوتار والأربطة هذا التكيف يسمح بحماية العضلة، وعند التركيز على تدريب المقاومة نلاحظ التطور الحاصل في زيادة سمك النسيج الضام. حيث يمثل النسيج البيني 13% من الحجم العضلي الكلي وهذا بوجود كل من (endomysiume, périmysium, épimysium).

شكل رقم (13): يوضح تضخم النسيج الضام البيني .



د- انقسام الألياف العضلية (Hyperplasie des fibres musculaires):

دلت بعض الدراسات لدى الحيوانات على حدوث عملية انقسام الألياف العضلية مما يؤدي إلى تضخم الحجم العضلي وهذا ما لوحظ في تجربة أجريت على القط بعد مدة من التدريب بشدة عالية حيث

يعمل هذا القص على تحريك حمولة ثقيلة هذا ما سمح بتطوير ملاحظ للقوة مع انقسام بعض الألياف العضلية.

و في دراسة أخرى كشفت عملية الانقسام لدى الإنسان بعد مدة من التدريب الشاق للقوة والمرتفع الشدة، تم أخذ 12 شخص مع تدريب لمدة 12 أسبوع، أدى هذا التدريب إلى زيادة ملاحظة في عدد الألياف العضلية في اليد (biceps brachial) ، هذا يدل على حدوث عملية الانقسام ولكن لبعض الأشخاص فقط وفي ظروف تدريبية خاصة، حيث تعمل الخلايا المستكشفة والمتحركة على المشاركة في توليد ونسخ ألياف عضلية جديدة هذه الخلايا تنشط أثناء حدوث تمزقات عضلية متسلسلة، التي تنشط وتحفز بحيث تتكاثر وتهاجر نحو الأماكن المتضررة ، بعد ذلك إما أن تنقسم مع الليفات العضلية الموجودة أو تتحول إلى ليفات عضلية جديدة .

3- الضمور وتوقف النمو العضلي (atrophie musculaire'L):

ينخفض المستوى البدني للشخص الذي يتمتع بلياقة جيدة وكثير التدريب وهذا بعد التوقف من التدريب، حيث تحدث مجموعة من التحولات البنيوية على المستوى الوظيفي للعضلة، وهذا ما اكتشف عن طريق نتائج دراستين مختلفتين:

1-3 التوقف وعدم أداء النشاط (L'immobilisation):

عند توقف العضلة من النشاط البدني بعد مدة من التدريب تحدث مجموعة من التحولات الهامة بعد ساعات فقط من التوقف، في 6 ساعات الأولى من التوقف وتيرة تصنيع البروتينات تنخفض وبالتالي من المحتمل بداية الضمور العضلي ما يترجم بانخفاض في حجم العضلة ، ينتج الضمور العضلي من نقص أو انعدام النشاط البدني الذي يؤدي إلى فقدان البروتينات العضلية وبالتالي نقصان مهم في القوة حوالي 3 إلى 4 % في اليوم.

يؤثر التوقف من النشاط البدني على الألياف البطيئة أولا، بعض الدراسات أشارت إلى تفتت و تفكيك الليفات العضلية، تغير وانخلاع خطوط Z و تضرر الميتوكوندري، وبالتالي نقص في مساحة وعدد الألياف البطيئة.

2-3 - التوقف من التدريب (L'arrêt de l'entrainement)

في دراسة أجريت على البنات، تأثير التدريب الرياضي للقوة لمدة 20 أسبوع بعد ذلك التوقف لمدة 30 إلى 32 أسبوع، ثم الرجوع إلى التدريب لمدة 6 أسابيع، هذا البرنامج التدريبي خاص بالجزء السفلي فقط(squats, la presse , extensions des membres inférieures)، في المرحلتين الخاصتين بالتدريب نلاحظ تطور القوة مع زيادة مصاحبة في مساحة كل الألياف العضلية مع انخفاض في نسبة

الألياف العضلية من النوع ST ، أما في مرحلة عدم التدريب لوحظ تأثير على مساحة وسمك الألياف العضلية مع نقصان في عدد الألياف العضلية من النوع FT.

4- التكيفات الخاصة بالجهاز العضلي عند التدريب الهوائي (Les adaptations du système musculaire a l'entrainement aérobie):

1-4 نوعية الألياف (Le type de fibre) :

تستميل النشاطات البدنية الخاصة بالتدريب الهوائي بشدة ضعيفة أو متوسطة الألياف العضلية البطيئة حيث تصبح هذه الألياف أكثر حجما، هذه الزيادة في المساحة تصل إلى 25 % حسب شدة ومدة الحصص المطبقة وفترة التدريب و من جهة أخرى لا تزيد مساحة الألياف العضلية السريعة FT و هذا نظرا لقلة استخدامها في هذا النوع من النشاط. إن الاستمرار في التدريب الهوائي لسنوات يؤدي إلى التحويل وتعديل في خصائص الألياف العضلية FTb نحو العمل الهوائي، او Fta. و في دراسات أخرى دلت على تحول الألياف من النوع FTb نحو الألياف FTa أي أكثر استخداما للأكسجين ، كما يمكن أن تتحول الألياف السريعة FTإلى الألياف ST لكن هذه التحولات عامة تكون ضعيفة وبنسب قليلة. و يظهر من خلال مشروع (HERITAGE) أن التدريب الهوائي لمدة 20 أسبوع يرفع من نسبة الألياف العضلية ST من 43,2 % قبل التدريب إلى 46,7 % بعد التدريب مع انخفاض في نسبة الألياف من النوع FTb من 20,0 إلى 15,1 % بعد التدريب الهوائي بدون التغير في الألياف العضلية من النوع FTa .

يمكن أن يغير تدريب القوة من نوع الألياف العضلية، لدى الحيوان وفي دراسات حديثة التنشيط المتقاطع المتمثل في تحفيز وحدة حركية من النوع FT عن طريق عصبون حركي من النوع ST أو العكس يمكن أن يغير ذلك من نوع الألياف العضلية، كذلك التحفيز المستمر للوحدات الحركية FT عن طريق تحفيز عصبي بوتيرة ضعيفة يحول من الوحدات الحركية FT إلى وحدات حركية ST بعد مدة من الأسابيع، لدى الفئران نوعية الألياف العضلية تتغير بعد 15 أسبوع من التدريب العالي الشدة على بساط متحرك وهذا بزيادة في عدد الالياف ST و Fta و انخفاض في عدد الالياف من النوع FTb ، هذا التغير في الالياف Ftb نحو الالياف FTa و الألياف Fta نحو الالياف ST تم تأكيده عن طريق مختلف التقنيات الهيستوكيميائية .

2-4 الدورة الشعيرية (La circulation capillaire):

إن الزيادة في سمك وعدد الشعيرات الدموية في النسيج العضلي يعتبر التحول الرئيسي الحاصل من التدريب الهوائي بحيث يمكن أن تزداد هذه الشعيرات بنسبة 15 % بعد مدة من التدريب الهوائي الطويل والمرتفع الشدة، هذه الزيادة في الشعيرات الدموية تسمح بزيادة مساحة المبادلات الغازية بين الدم

والعضلات و كذلك من أجل نقل الحرارة والمواد الغذائية، هذه الزيادة أيضا تسمح بزيادة حجم الأكسجين المستهلك.

3-4 محتوى الميوقلوبين (La teneur en myoglobine):

أثناء دخول الأكسجين في الألياف العضلية يثبت مباشرة في الميوقلوبين الذي يعمل على نقل الأكسجين بين الغشاء الخلوي والميتوكوندري، وأثناء أداء الجهد البدني يخزن الأكسجين في الميوقلوبين ثم يترك نحو الميتوكوندري، يؤدي التدريب الهوائي إلى زيادة محتوى الميوقلوبين في العضلة من 75 إلى 80 % .

4-4 وظيفة الميتوكوندري (La fonction mitochondriale):

إن إنتاج الطاقة في العمل الهوائي يتم على مستوى الميتوكوندري، تتطلب القدرة على توفير الطاقة عن طريق الآلية الهوائية بتوفر عدد وحجم مهم للميتوكوندري، حيث يعمل التدريب الهوائي على الرفع في هذه الخصائص، وفي دراسة أجريت على الجرذان عدد الميتوكوندري يزداد بـ 15 % بعد 27 أسبوع من التدريب وفي نفس الوقت مساحة الميتوكوندري ترتفع بنسبة 35 %.

5-4 الأنزيمات المؤكسدة (Les enzymes oxydatives):

إن الزيادة في عدد وحجم الميتوكوندري يعمل على الرفع من فعاليتها و هذا ما يحسن من الكفاءة الهوائية في العضلة، يرفع التدريب الهوائي من نشاط الأنزيمات المؤكسدة في الميتوكوندري ، و من بين هذه الأنزيمات نجد (la succinate déshydrogénase SDH, sytrate-synthase)، في دراسة أجريت عند أداء تمرينات الجري أو الدراجة ترفع من نسبة نشاط أنزيم SDH بنسبة 25% على عكس الشخص العادي، هذه النسبة تضرب في 2,6 عند تجاوز مدة التدريب 60 إلى 90.

5- التكيفات الخاصة بالجهاز العضلي عند التدريب اللاهوائي (Les adaptations du système musculaire a l'entrainement anaérobie):

يؤدي التدريب اللاهوائي (السرعة ، القوة) إلى إحداث مجموعة من التكيفات على مستوى العضلة الهيكلية، هذا التغير يظهر أساسا في استخدام هذه الألياف أثناء النشاط البدني للقوة والسرعة ، حيث كلما زادت شدة الجهد البدني كلما زاد عدد الألياف FT المستخدمة، يؤدي تدريب السرعة إلى نقصان في عدد الألياف العضلية من النوع ST و يعكس ذلك زيادة في عدد الألياف العضلية FTa و في دراسة خاصة بتدريب السرعة القصوى لمدة 15 ثا أو 15 و 30 ثا، لوحظ انخفاض في نسبة الألياف العضلية البطيئة من 57 إلى 48% و بالتالي زيادة في نسبة الألياف العضلية FTa من 32 إلى 38 %.

في دراسة staron et coll، تم التوضيح جيدا لعملية تحول الألياف العضلية، لدى الإناث بعد تدريب للقوة بحمولات وشدة مرتفعة لمدة 20 أسبوع كان هناك زيادة في القوة الثابتة وفي مساحة كل

أنواع الألياف العضلية للجزء السفلي، هذه التغيرات وجدت في عدة دراسات، و في أبحاث اخرى وجدت أن تدريب القوة بحمولات مرتفعة و تمرينات السرعة يمكن أن يحدث عنه تحول في الألياف من النوع ST نحو الألياف Fta.

1-5 تكيف جهاز ATP-PCr:

عند كل من نشاط السرعة و رفع الأثقال يكون هناك إنتاج أقصى للقوة وهذا باستخدام كل من جهاز ATP-PCr من أجل توفير الطاقة اللازمة للتقلص العضلي ، كل جهد بدني قصير المدة و عالي الشدة يتطلب هدم و تصنيع سريع للATP و PCr. في دراسة أجريت من طرف Costil et all قام مجموعة من الرياضيين بالبسط الأقصر للركبة ، تضمنت الحصص بين عشر تقلصات قصوى بسرعة لمدة قصيرة أقل من 6 ثانية برجل واحدة ، هذا النوع من التدريب أدى إلى التحفيز وبطريقة متصاعدة لجهاز ATP-PCr ومن أجل تدريب الرجل الأخرى تم إنجاز تكرارات قصوى لمدة 30 ثانية وهذا باستخدام الجهاز الجليكوليكي، عند كلا نوعي التدريب كان هناك نفس التطور للقوة بنسبة 14% ومقاومة التعب، كما كان هناك زيادة في كل من أنزيم الكرياتين فوسفو كيناز و الميوكيناز في الساق المتدربة لمدة 30 ثانية بينما لم يكن هناك تغير في الساق المتدربة لمدة 6 ثانية ، وهذا يعطي نتيجة أن التمرينات القصيرة و العالية الشدة ترفع من القوة العضلية و التفوق بينما ينتج عن ذلك تطور ضعيف في جهاز ATP-PCr .

دراسة أخرى توصلت إلى زيادة في في نشاط الأنزيمات العضلية لهذا الجهاز بعد تكرارات للتمرينات أقل من 5 ثا هذه النتائج تعتبر معاكسة للدراسة السابقة وهذا يدل على أن الهدف الرئيسي من التدريب هو تطوير القوة هذا التطور في القوة يسمح للعضلة بإنجاز أكثر سهولة للتمرينات البدنية المنجزة.

2-5 تكيف الجهاز الجليكوليكي :

التدريب اللاهوائي عن طريق تمرينات لمدة 30 ثانية يرفع من نشاط بعض الانزيمات المعروفة في عملية الجليكوليز (الفوسفوغيلاز، الفوسفوفركتوكيناز، اللاكتلت ديدروجيناز) التدريب المنجز لتمرينات عالية الشدة لمدة 30 ثانية يرفع من نسبة نشاط هذه الانزيمات من 10 إلى 25% بينما هناك تغيرات ضعيفة عند التمرينات الاقل من 6 ثانية في دراسة للسرعة لمدة 30 ثا ترفع إحصائيا من نشاط الهيكسوكيناز بنسبة (56%) و انزيم الفوسفو فركتوكيناز بنسبة 49% بدون التغيير في نشاط الفوسفوغيلاز و اللاكتات ديدروجيناز. التدريب اللاهوائي يحسن من نشاط انزيمات جهاز ATP-PCr و الجليكوليكي ولكن بدون التأثير على العمليات الايضية الهوائية.

التغيرات الفسيولوجية الحاصلة على مستوى العضلات نتيجة الجهد البدني:

نتيجة الجهد البدني تحدث العديد من التغيرات على مستوى العضلات يمكن أن نعددها فيما يلي:

1. زيادة عدد الألياف العاملة بالعضلة أو المجموعة العضلية المدربة.
2. زيادة مساحة مسطح الدور الدموية، ومعناه زيادة شبكة الأوعية والشعريات الدموية المغذية للعضلات.
3. زيادة عدد الألياف العصبية والنهايات الفرعية المغذية للألياف العضلية.
4. زيادة وزن العضلة نتيجة زيادة المقطع العرضي لها، أي زيادة حجم العضلة المدربة.
5. زيادة عدد الميتوكوندريا المسؤولة عن عملية أكسدة الغلوكوز وإنتاج الطاقة، وتتناسب مع نوع النشاط التخصصي، ومعنى ذلك أن هناك نوع من الأنشطة البدنية ترفع عدد الميتوكوندريا أكثر من أنشطة أخرى، وهنا يمكن القول بشكل عام أن الأنشطة الهوائية تزيد عدد المينوكوندريا أكثر من غيرها من الأنشطة البدنية الأخرى.
6. القدرة على الاحتفاظ بمخزون كبير من:

   أ ـ طاقة الرابطة الفوسفاتية (ATP-PC).

   ب ـ الجلايكوجين اللازم لإعادة بناء ATP في التفاعلات الهوائية.
7. القدرة على إنتاج انقباضات عضلية أقوى، وتكرار ذلك في زمن قصير.
8. خفض حجم المقاومات الداخلية في العضلة (اللزوجة Viscosity).
9. التغلب على المقاومات الخارجية ومثلها وزن الجسم أو ثقل المنافس.
10. سرعة التخلص من مخلفات العمليات الأيضية (التمثيل الغذائي).

التكيفات الفسيولوجيا للعضلات نتيجة الأنشطة البدنية:

1. ارتفاع معدل سرعة الاستجابة (الانقباض أو الانبساط) وتناسب ذلك وحجم المثير الحركي في نوع النشاط الرياضي التخصصي الممارس.
2. ارتفاع معدل العمليات الايضية (أكسدة المواد الغذائية وإطلاق الطاقة).
3. ارتفاع معد التبادل الغازي على مستوى الرئتين (التنفس الخارجي) وبالنسيج الداخلي (التنفس الخلوي).
4. استمرار إعادة بناء جزيئات ATP.
5. ارتفاع مستوى الفعالية المكانية مما يحقق الاقتصاد في معدلات الطاقة المستهلكة، وكذلك في الأكسجين المستهلك.
6. تأخير عتبة التعب لأطول مدة مما يتيح فترة أطول لنشاط البداني بأكثر كفاءة.
7. سرعة التخلص من الحرارة الزائدة عن حاجة الجسم والعضلات، وكذلك بيئة التفاعلات الإنزيمية داخل الخلايا.
8. سرعة العودة للحالة الطبيعية، أي الاسترجاع في أقصر فترة.