محاضرات في مقياس

فيزيولوجـــيا الجهـــد البدنـــــي

محاضرات خاصة بالسداسي الثاني
ماستر1 تخصص: تدريب رياضي نخبوي
ميدان: علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية

السنة الجامعيى 2024-2025

المحور الأول: طرق قياس الطاقة المستهلكة

1-كيف يتم صرف الطاقة؟
2-كيفية قياس الطاقة المصروفة من قبل الجسم.
3-بعض طرق قياس استهلاك الطاقة.

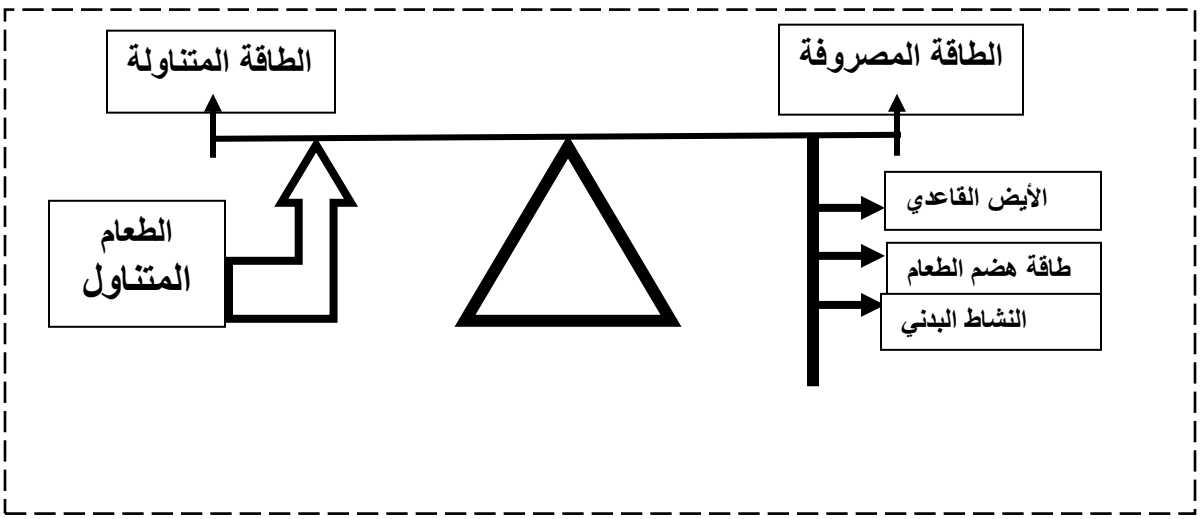
المحور الأول: طرق قياس الطاقة المستهلكة

المحاضرة 01 الأسبوع 01

-كيف يتم صرف الطاقة:

إن لمعادلة اتزان الطاقة طرفان، الطرف الأول هو الطاقة المستهلكة أو المتناولة، وهي الطاقة الحرارية المتناولة من قبل الجسم (الطعام المتناول)، بينما يمثل الطرف الثاني الطاقة المصروفة(**Energy intake**). ويمكن تقسيم الطاقة المصروفة إلى ثلاثة أجزاء، هي الطاقة المصروفة أثناء الراحة (**RMR**)، والطاقة المصروفة من جراء استهلاك الطعام (**Thermal effect of food**) ، وأخيرا الطاقة المصروفة في جراء النشاط البدني اليومي، سواء كان نشاطا حياتيا اعتياديا آو نشاط رياضيا.

ويوضح الشكل رقم(01) عناصر كل من الطاقتين المصروفة والمتناولة . والمعروف أن مصروف الطاقة في الراحة يمثل النسبة الأكبر من الطاقة المصروفة في اليوم حوالي 6%، وهو المصروف اللازم للوفاء باحتياجات الجسم الحيوية أثناء الراحة، مثل عمليات– التنفس وعمل القلب، وضخ الدم، واتزان السوائل، ونشاط الجهازين العصبي والعضلي. **(Westerterp K. Saris W.,1992, p123.)**



شكل رقم01 :معادلة اتزان الطاقة في الجسم، والعناصر المكونة لكل من الطاقتين المصروفة والمتناولة

أما الطاقة المصروفة في استهلاك الطعام وهضمه وامتصاصه وتخزينه فتقدر بحوالي10 % من مجموع الطاقة الكلية المتناولة في اليوم من قبل الشخص، ويتأثر هذا الجزء بعدد مرات تناول الطعام، وكميته، ونوعه. وتعد الطاقة المصروفة من خلال النشاط البدني الأكثر تفاوتاً بين الأفراد، والأكبر تأثيراً على توازن الطاقة في الجسم، ويدخل ضمن ذلك الطاقة المصروفة نتيجة النشاط البدني والحركي المبذول في المنزل وفي العمل وفي الرياضة والترويح) أنظر الشكل رقم ٢ .(والمعروف أن زيادة مقدار الطاقة المتناولة أو انخفاض النشاط البدني) أو

كلاهما (يقودان إلى البدانة، كما أن انخفاض النشاط البدني يؤدي بدوره إلى انخفاض اللياقة البدنية، وكذلك فإن زيادة البدانة تقود بدورها إلى انخفاض اللياقة البدنية،وعليه فإن النشاط البدني يؤثر على البدانة ويتأثر بها.

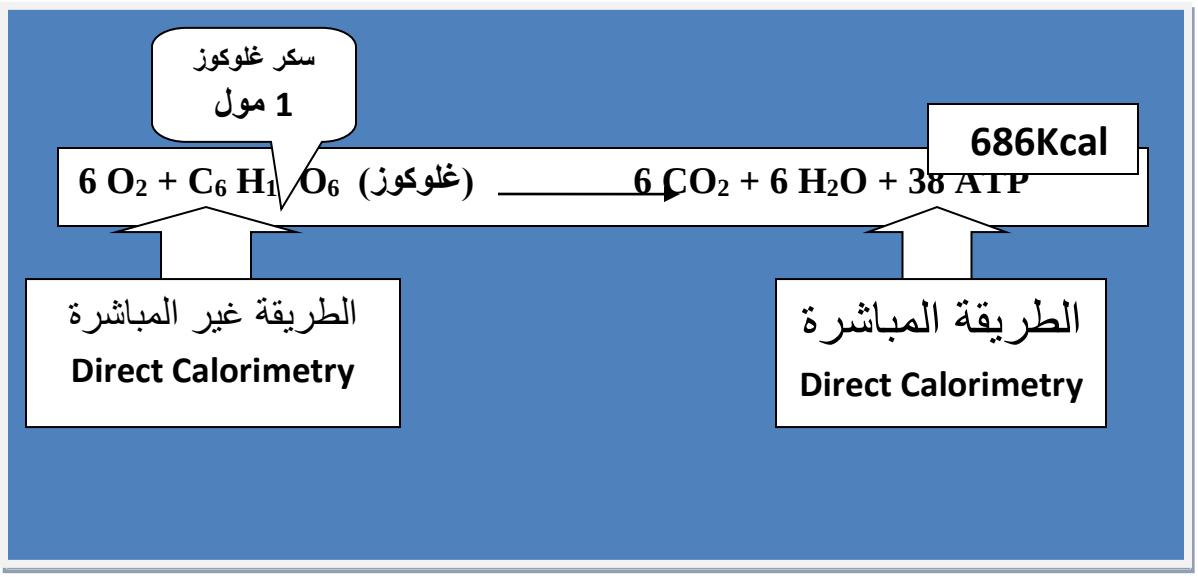
النشاط البدني	Physical Activity 20-30%
طاقة هضم الطعام	Thermal Effect of Food 10%
الأيض القاعدي	Basal Metabolic Rate 60-70%

الجدول رقم (01): مكونات الطاقة المصروفة ونسبة مشاركة كل مكون منها ضمن الطاقة الكلية.

ويتفاوت معدل الطاقة الكلية المصروفة من قبل الأفراد تبعاً لمعدل نشاطهم البدني، لكن من المعتقد أن الحد الأدنى من معدل الأيض في الجسم هو 1.4 أضعاف معدل الأيض القاعدي أو الأساسي **(BMR)** ، ويدخل في ذلك الطاقة اللازمة للأيض القاعدي، والطاقة اللازمة لاستهلاك الطعام، والطاقة الضرورية للقيام بالحد الأدنى من الأنشطة البدنية اليومية. أما الحد الأعلى للطاقة المصروفة من قبل الجسم، فنلاحظها لدى بعض الرياضيين الذين ينخرطون في تدريبات بدنية شاقة ومنافسات رياضية حادة، مثل طواف فرنسا للدراجات،الذي يتكون من 20 مرحلة ويدوم ثلاثة أسابيع، حيث يصل معدل الطاقة المصروفة من قبل هؤلاء الرياضيين إلى معدل عال يبلغ 3.5-5.5 ضعف ما هو عليه معدل الأيض القاعدي، علماً بأن الطاقة المصروفة في اليوم (متوسط معدل الأيض في اليوم على معدل الأيض القاعدي) لدى عامة الناس يتراوح من 1.2-2.5 .

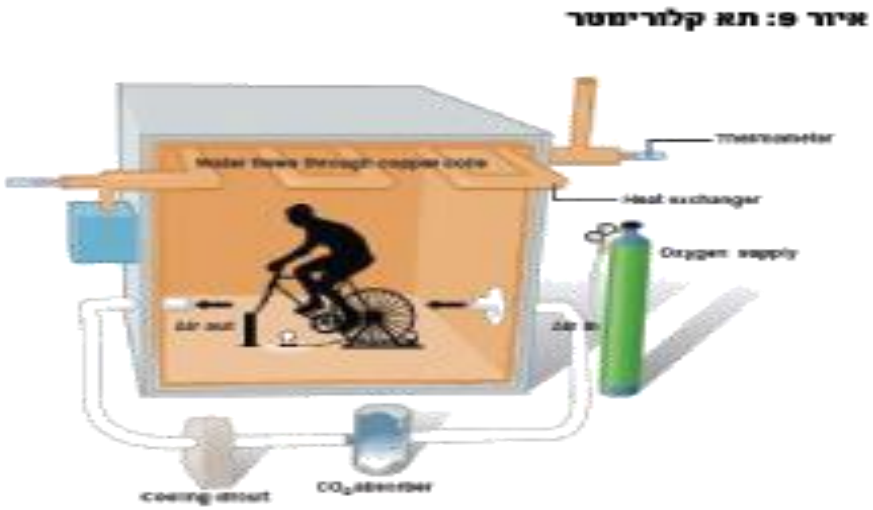
-كيفية قياس الطاقة المصروفة من قبل الجسم:

إن جميع العمليات الحيوية داخل جسم الإنسان يتم فيها استخدام الطاقة وينتج عنها حرارة. ويقوم الجسم بالتخلص من الحرارة المنبعثة من جراء عمليات الأيض هذه بوسائل عدة، منها الحمل، والإشعاع، والتوصيل، وتبخر العرق. والمعروف أن تحويل الطاقة الكيمائية داخل العضلات (الناتجة من التمثيل الغذائي داخل الجسم) إلى طاقة ميكانيكية (عمل عضلي) يتم بكفاءة لا تزيد عن 25% ، مما يعني أن ما يربو على 75 % من الطاقة الكيمائية داخل الجسم تتحول إلى حرارة يتم التخلص منها من قبل الجسم .ويعتبر معدل إنتاج الحرارة في الجسم مؤشرا دقيقا على معدل العمليات الأيضية (الحيوية) التي تجري داخل الجسم، أي مؤشرا لمعدل الطاقة المصروفة من قبل الجسم . ويوضح الشكل رقم (02) معادلة التنفس الخلوي (أكسدة الغلوكوز بوجود الأوكسجين)، المؤدية لإنتاج الطاقة داخل خلايا الجسم، حيث تستخدم عموما كل من المواد الدهنية والكربوهيدراتية (وبنسبة ضئيلة جدا يمكن استخدام الأحماض الأمينية) في عمليات إنتاج الطاقة. إن مقدار الطاقة الحرارية المنتجة من عملية التنفس الهوائي عند حرق مول واحد من الجلوكوز (بواسطة الأكسجين) تقدر بما يساوي 686 كيلو سعر حرارية. هذه الحرارة المنبعثة من التحلل الجلوكوزي ترتبط ارتباطاً وثيقا مع مقدار الوقود المستخدم) في هذه الحالة الجلوكوز (وبالتالي مقدار الأكسجين المستخدم، وعليه فكلما كان الأكسجين المستخدم في حرق الوقود أكبر كانت الطاقة الحرارية أكبر.



ولقياس الطاقة الحرارية المنبعثة مباشرة من الجسم، يلزمنا استخدام ما يسمى بمقياس أي قياس الطاقة الحرارية المنبعثة مباشرة (**Direct calorimeter**) ، الطاقة الحرارية المباشر من الجسم، وهذا الإجراء يتطلب وجود غرفة خاصة مجهزة لهذا الغرض، تكون معزولة عن المحيط الخارجي، يتم بداخلها قياس مقدار الحرارة المنبعثة من الجسم، سواء كان ذلك أثناء الراحة أم أثناء النشاط البدني .وعادة ما تكون هذه الغرفة معزولة تماماً عن الوسط الخارجي ومجهزة بأنابيب من الداخل يمر فيها تيار مائي، ويتم قياس الفرق بين درجة حرارة تيار الماء الداخل إلى الغرفة والتيار المائي الخارج منها (أنظر الشكل رقم 03)، ومن ثم يتم تحويل ذلك إلى سعرات حرارية، حيث يدل انخفاض درجة حرارة لتر واحد من الماء درجة مئوية واحدة على فقدان كيلو سعر حراري واحد. علما بأنه يتم الأخذ بالحسبان الحرارة المنبعثة من بخار الماء في تيار الهواء الداخل إلى الغرفة.

وفي وقتنا الحاضر، لا يوجد في كل دول العالم إلا مجموعة محدودة من غرف القياس المخصصة لرصد الحرارة المنبعثة من الجسم، وتستخدم بشكل رئيسي في أغراض البحث العلمي. وفي الآونة الأخيرة حدث تطور في قياس الحرارة المنبعثة من الجسم عن طريق تصنيع بذلة تحتوي أنابيب يمر فيها الماء، ويمكن لبسها من قبل المفحوص، وبالتالي قياس الحرارة المنبعثة منه سواء أثناء الراحة أو أثناء النشاط البدني، لكنها تظل أكثر تعقيداً مما يمكن تصوره، وبالتالي فهي ليست في الواقع طريقة عملية عدا لأغراض البحث العلمي. **(Westerterp K. Saris W.,1992, p125.)**



شكل رقم(03) :الغرفة الحرارية لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم أثناء الجهد البدني.

ونظرا لصعوبة استخدام الطريقة المباشرة لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم، يتم اللجوء إلى ما يسمى بالطريقة غير المباشرة لقياس الحرارة المنبعثة من الجسم ومن ذلك قياس معدل استهلاك الأكسجين وإنتاج ثاني أكسيد الكربون من قبل ، (**Indirect calorimetry**) الجسم، سواء كان ذلك في الراحة أم أثناء الجهد البدني، فالمعروف أن الأكسجين المستنشق يتم استخدامه من قبل الجسم في حرق الوقود (المواد الكربوهيدراتية، والدهون، وإلى حد أقل البروتينات) من خلال عمليات أيضية هوائية (عمليات التمثيل الغذائي داخل الخلايا)، ويتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون كناتج أيضي يخرج عن طريق هواء الزفير، بالإضافة إلى إنتاج الماء . ويمكن بدقة ويسر تقدير الطاقة المصروفة أثناء الجهد البدني من خلال معرفة معدل استهلاك الأكسجين ومقدار المعامل التنفسي الخلوي (**RQ**) ، خاصة في حالة الاستقرار(**Steady state**) حيث يكون المعامل التنفسي الخلوي يساوي 1 صحيح في حالة حرق الكربوهيدرات 100% وحوالي 0.7 في حالة حرق الدهون 100% كما هو موضح في المعادلات التالية:

$$6\ O_2 + C_6H_{12}O_6\ \text{(سكر غلوكوز)} \longrightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + 38\ ATP$$

$$C_{16}H_{32}O_2\ \text{(حمض دهني)} + 23\ O_2 \longrightarrow 16\ CO_2 + 16\ H_2O + 129\ ATP$$

يختلف مقدار المعامل التنفي الخلوي(RQ) تبعا لنوع الوقود المستخدم، فالدهون تستهلك كمية أكبر من الأوكسجين مقابل كمية ثاني أوكسيد الكربون المنتج.

وتتناسب في الواقع عملية استخدام الأكسجين تناسباً طردياً مع الطاقة المنتجة من قبل الجسم. كما نلاحظ أثناء الجهد البدني المتدرج وجود علاقة خطية قوية بين استهلاك الأكسجين وشدة الجهد البدني المبذول.

المحور الأول: طرق قياس الطاقة المستهلكة

1-كيف يتم صرف الطاقة؟

2-كيفية قياس الطاقة المصروفة من قبل الجسم.

3-بعض طرق قياس استهلاك الطاقة.

المحور الأول: طرق قياس الطاقة المستهلكة

المحاضرة 02 الأسبوع 02

-بعض طرق قياس استهلاك الطاقة :

تستخدم عدة طرق في قياس استهلاك الطاقة ، ويمكن تقسيم هذه الطرق إلى قسمين رئيسيين همـــا :

1-3- الطـرق المباشرة Direct Methods

تعتمد على قياس الطاقة الحرارية أثناء قيام الجسم بأداء مجهود معين ، وتسمى بالقياس الكالوري ميتري المباشر Direct Calooimetry ، ويعبر عنه بالسعرات الحرارية .

· المميزات :

- الدقة

· العيـوب :

- طول مدة الملاحظة.
- صعوبة الاستخدام في الأنشطة الرياضية أو المهنية للإنسان.
- ارتفاع ثمن الأجهزة المستخدمة.
- صعوبة النقل.

· الأجهزة المستخدمة:

1 – المسعر التنفسي:

عبارة عن حجرات ذات جدران مزدوجة ، يفصل بينها مواد عازلة للحرارة ، ومزودة بنوافذ مزدوجة تمنع تسرب الهواء أو الحرارة إلى خارج الغرفة . وهذه الغرف مزودة بأنابيب يجري بداخلها ماء ، وترمومترات كهربائية (لقياس حرارة الماء)، وعدادات (لقياس كمية الماء)، وأسطوانات أكسجين مضغوط، وزجاجات تحتوي على حامض الكبريتيك وجير الصودا.

· طريقة الحساب:

تكمن في قياس كمية الأكسجين الذي يستنشقه الشخص داخل الغرفة وكمية ثاني أكسيد الكربون الذي يخرجه الجسم حيث تعادل كمية الحرارة التي يفقدها الشخص داخل الحجرة (عند قيامه ببذل مجهود معين) كمية الحرارة التي يمتصها الماء داخل الأنابيب المارة بالغرفة . **(رضوان،1998، ص77).**

2-3- الطرق الغير مباشرة Methods Indirect:

وهي الطرق المعتمدة على حساب حجم الأكسجين الذي يستهلكه الشخص خلال فترة زمنية محددة لأكسدة كمية معينة من الغذاء.

Indirect Methods وهذه الطرق هي الشائعة في الغالب وتعرف بطرق القياس الكالوري ميتري الغير مباشر، وتختلف كمية الطاقة المتحررة تبعا لنوع المصدر الغذائي المستخدم فإنتاج الطاقة ، فمثلا:

- يعطي الليتر الوحدات الأكسجين المستخدم لأكسدة المواد الكربوهيدراتية طاقة مقدارها 5.05 سعر حراري.
- بينما البروتينات تعطي 4.7 سعر حراري .
- في حين تعط الدهون حوالي 4.7 سعر حراري . وهذا يعني أن الدهون تحتاج إلى قدر أكبر من الأكسجين لإنتاج نفس الكمية من السعرة الحرارية مقارنة بالكربوهيدرات.

الأجهزة المستخدمة:

تنقســم إلى نوعين هما:

1. أجهزة الدائرة المغلقة Closed-circuit devices

تعتمد على قياس حجم أكسجين المستهلك في عملية التنفس خلال فترة زمنية محدودة، ثم تنقية هواء الزفير من ثاني أكسيد الكربون والماء، وإعادة استنشاقــه مرة أخرى وتكرار العملية.

Closed-circuit devices وهذه الطريقة تسمى بطريقة الدائرة المغلقة لتحليل الغاز وتتم من خلال قيام الشخص المراد فحصة باستنشاق الأكسجين عبر أنبوبة وقناع ، الزفير من خلال أنبوبة أخرى ، ثم حساب مقدار الأكسجين المستهلك.

2. أجهزة الدائرة المفتوحة OPEN-circuit devices

تتم من خلال استنشاق الأكسجين من هواء الشهيق عبر الأنف أثناء أداء الحمل البدني ، وطرد هواء الزفير عبر الفم ثم وتجميعه في أكياس دوجلاس (Douglas Bags) ثم حساب الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في هواء الشهيق والزفير وتمديد مقدار الأكسجين المستهلك .

وتتميز هذه الطريقة بأنها أكثر دقة من طريقة الدائرة المغلقة، حيث تشكل نسبة الخطأ فيها حوالي 1 % مقابل 15 % لطريقة الدائرة المغلقة. **(رضوان،1998، ص77).**

.

المحور الثاني: التقلص العضلي

أولا: نظرية التقلص العضلي

1-العضلة.

2-التقلص العضلي.

ثانيا: التعب العضلي

1-مفهومه وأنواعه.

2-آلية حدوث التعب العضلي فيزيولوجيا ووظيفيا.

4-الاستشفاء من التعب العضلي.

المحور الثاني: التقلص العضلي

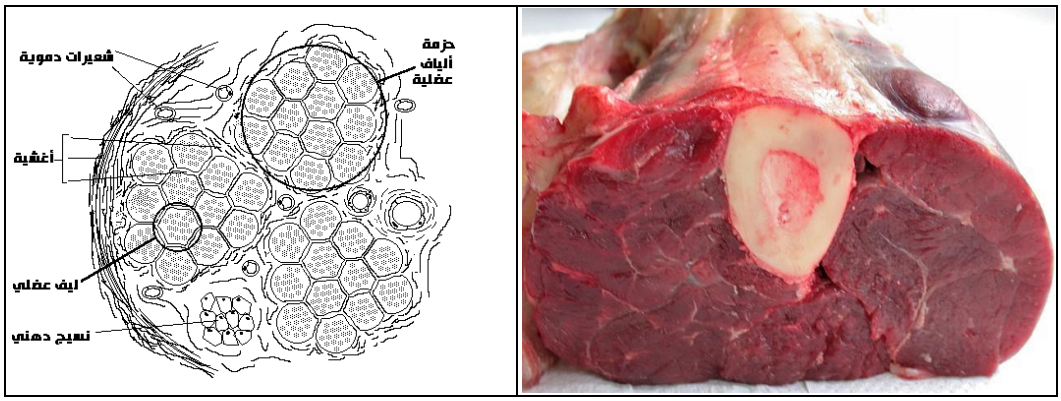
المحاضرة 03 **الأسبوع 03**

أولا: نظرية التقلص العضلي:

1-العضلة:

بنية العضلة الهيكلية المخططة:

مقطع عرضي لعضلة طرية	رسم تخطيطي لمقطع عرضي لعضلة



تتكون العضلة من عدة ألياف عضلية Myofibres على شكل حزم، ذات لون أحمر لاحتوائها على الخضاب العضلي وهو بروتين متخصص في نقل الغازات التنفسية وهناك أيضا وجود أوعية دموية وأعصاب.
تمثل العضلات وسائل لتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية لذا فإنها تلعب دورا مهما في استجابة الحيوان وتلاؤمه مع المحيط الخارجي، وهنالك 3 أنواع رئيسية من العضلات تختلف عن بعضها في التركيب نسيجيا وفي الموقع تشريحيا وفي الوظيفة فسيولوجيا وكذلك في نوع الألياف العصبية المتصلة بها:

1. العضلات الملساء Smooth muscles: وتدعى أيضا بالعضلات غير المخططة أو الحشوية أو اللاإرادية وتتميز أليافها بأنها خالية من التخطيطات العرضية ولو إن فيها تخطيطات طولية لا تكاد ترى إلا بصعوبة وبأنها مغزلية الشكل تحتوي على نواه واحدة مركزية الموقع. وهي توجد في جدران الأعضاء الداخلية وتكون مزودة بألياف عصبية ذاتية.

2. العضلات القلبية Cardiac muscles:عضلات لا إرادية ومزودة بألياف عصبية ذاتية تتميز خلاياها بأنها مخططة ومتصلة مع بعضها مكونة ما يدعى المندمج Syncytium.

3. العضلات الهيكلية Skeletal muscles: عضلات مخططة إرادية أليافها اسطوانية ذات عدة نوى وهي متصلة بالعظام وتتزود بألياف عصبية جسمية.

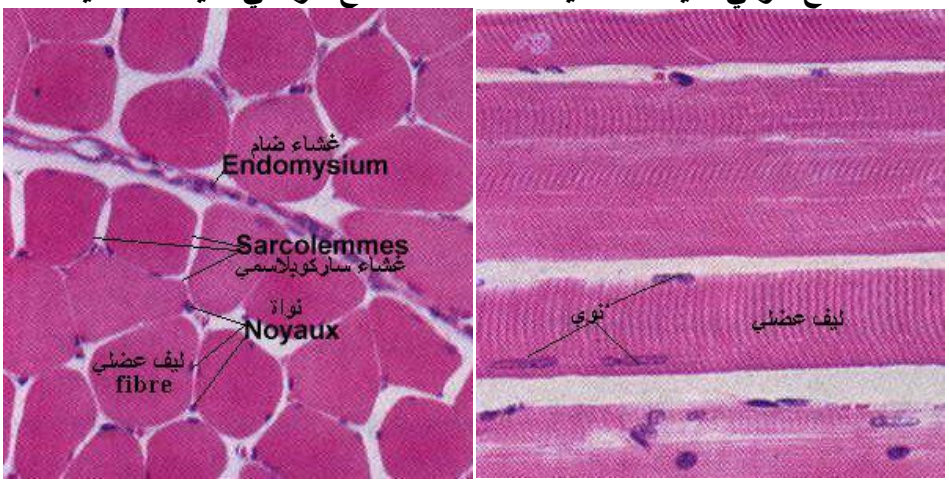
***التشريح العام للعضلة الهيكلية:**

تتألف العضلة الهيكلية من آلاف من الألياف العضلية Muscle fibers الاسطوانية، يحيط الليف العضلي غشاء رقيق يدعى Sarcolemma وهو مملوء بمادة هلامية هي الساركوبلازم Sarcoplasm، وعند فحص الألياف العضلية الهيكلية بواسطة المجهر الضوئي يمكن مشاهدة مناطق داكنة وأخرى فاتحة على طول الليف العضلي وهذا الشيء يعطي الليف العضلي صفة التخطيط العرضي Cross striation وتختلف المناطق الداكنة عن المناطق الفاتحة في خواصها الضوئية لذا تدعى المناطق الداكنة بالأحزمة A-bands (Anisotropic bands) والمناطق الفاتحة بالأحزمة I bands (Isotropic bands)، وتقسم كل حزم I الى نصفين بواسطة غشاء يدعى الخط Z (Z-line or Z-disk) وبذلك يقسم الليف العضلي الى عدد من الوحدات تدعى Sarcomeres

والساركومير الواحد هو ذلك الجزء من الليف العضلي الواقع بين خطين من خطوط Z اما الحزام A فتمر في وسطه منطقة افتح لونا تدعى حزام هنزن او حزام H (Hensen band, H-band).

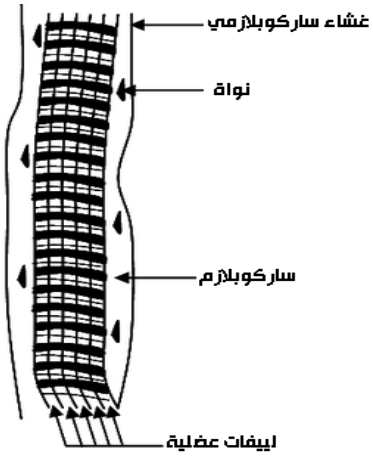
بنية الليف العضلي:

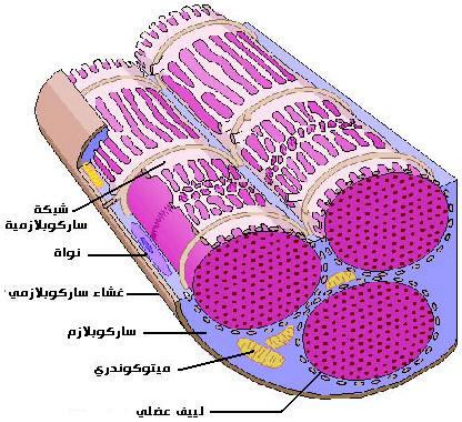
مقطع طولي لألياف عضلية **مقطع عرضي لألياف عضلية**



http://www.biomultimedia.net/archiv/muscle.htm

رسم تخطيطي جزئي ثلاثي الأبعاد لخلية عضلية= ليف عضلي



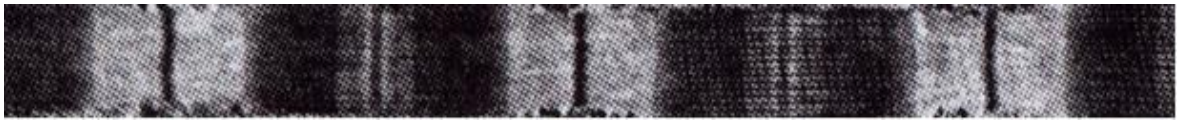


يمثل كل ليف عضلي خلية ضخمة متعددة النوى، يصل طولها إلى عدة سنتمترات، محاطة بغشاء ساركوبلازمي، وتحتوي على سيتوبلازم (ساركوبلازم) يوجد به العديد من الميتوكوندريات، وشبكة ساركوبلازمية كثيفة غنية بالكالسيوم،كما يحتوي على كمية من الغليوكوجين والخضاب العضلي.
ويبقى المكون الرئيسي لليف العضلي هو الليفات العضلية التي تعطي المظهر المخطط للعضلات.
وأظهر فحص الليف العضلي بالمجهر الالكتروني إن الساركومير يحتوي على نوعين من التراكيب الخيطية تدعى الخيوط السميكة Thick filaments والخيوط الرفيعة .Thin f ونهايات هذه الخيوط لا تلتقي بل توجد فسحة بين كل خيطين متقابلين، كما تبين ان الحزم A (الداكنة) يحتوي على الخيوط السميكة والرفيعة بينما الحزم I فيحتوي على خيوط رفيعة فقط أما الخط H فيحتوي على خطوط سميكة فقط .

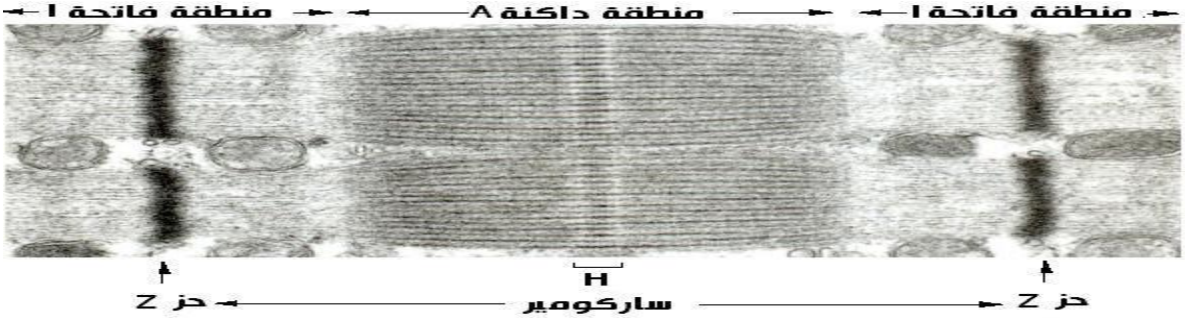
كما وجد ان هنالك نوع ثالث من التراكيب الخيطية تمتد من الخيوط السميكة إلى الخيوط الرفيعة تسمى الجسور ما بين الخيوط Inter-filamental bridges تساهم في عملية التقلص. **(أبو العلا، 1997، ص 88)**

بنية الليف العضليmyofibrille:

تمثل الوثيقة التالية صورة مجهرية جزئية لليف عضلي.



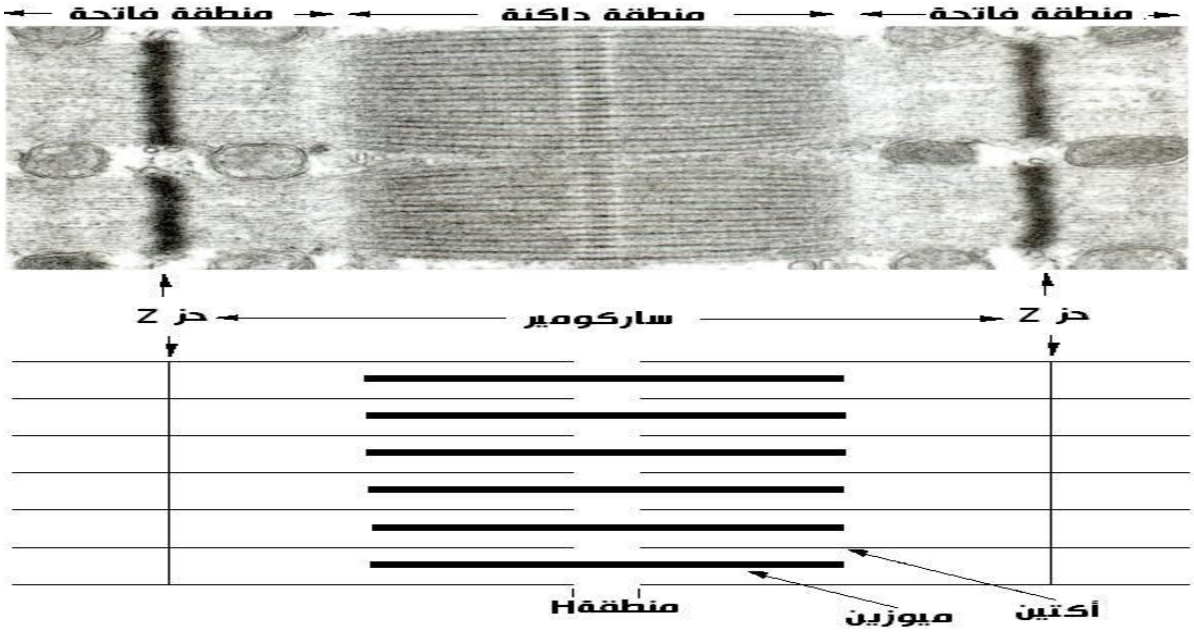
يتشكل كل ليف عضلي من تناوب أشرطة فاتحة I أي Isotropic وأشرطة داكنة A أي Anisotropic.
يظهر وسط كل شريط داكن منطقة فاتحة تدعى المنطقة H مشتقة من الكلمة الألمانية Heller وتعني مضيء.
وسط كل شريط فاتح خط قاتم يدعى الحز Z مشتقة من الكلمة الألمانية Zwischenscheibe وتعني القرص الأوسط.
تسمى المنطقة المحصورة بين حزي Z متتالين ساركومير، ويعتبر هذا الأخير الوحدة البنيوية والوظيفية لليف العضلي.



ملاحظة بتكبير

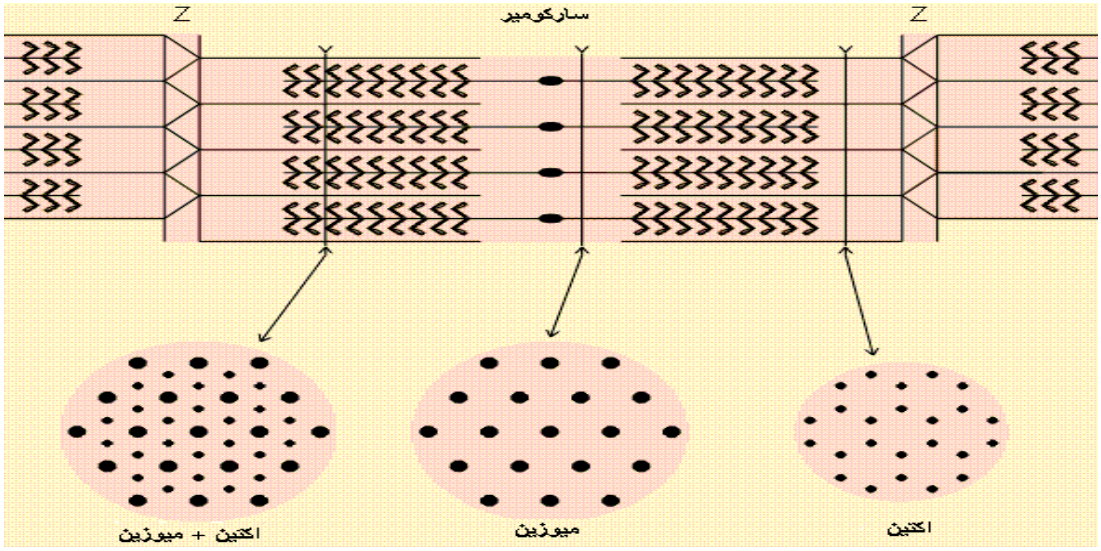
20.000

فوق بنية الليف العضلي Myofibrille :



يتشكل كل ليف عضلي من صنفين من الخيوط العضلية Myofilaments:

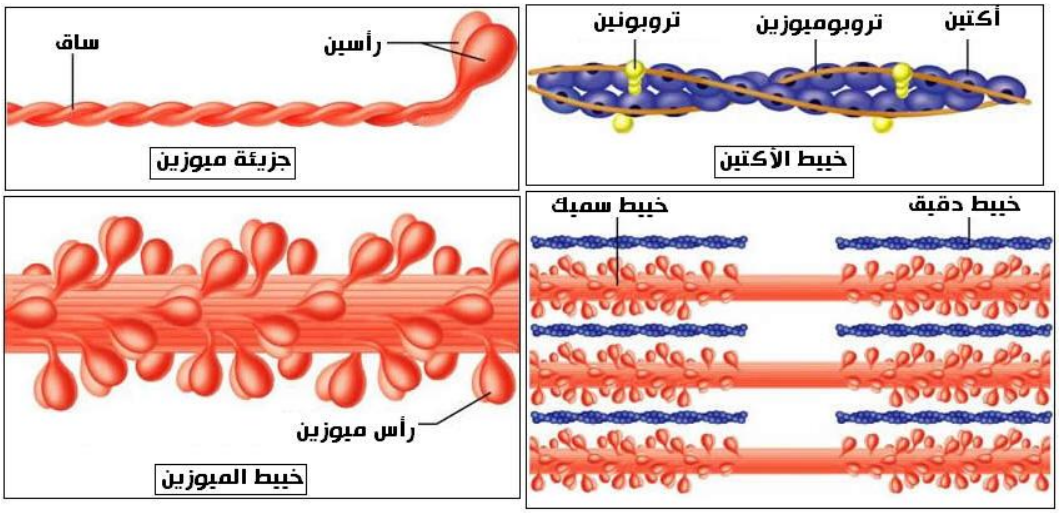
- خيوط سميكة مكونة من بروتين يدعى ميوزين
- خيوط دقيقة مكونة من بروتين يدعى أكتين



الشريط الفاتح I مكون فقط من الأكتين أما الشريط القاتمA يتكون من النوعين من الخيوط باستثناء المنطقة H حيث يتواجد الميوزين فقط.

فوق بنية الخيوط العضلية:

تمثل الوثيقة التالية، فوق بنية الخيوط العضلية.



ـ انطلاقا من الوثيقة، صف فوق بنية الليفات العضلية.

*** وصف بنية الليفات العضلية:**

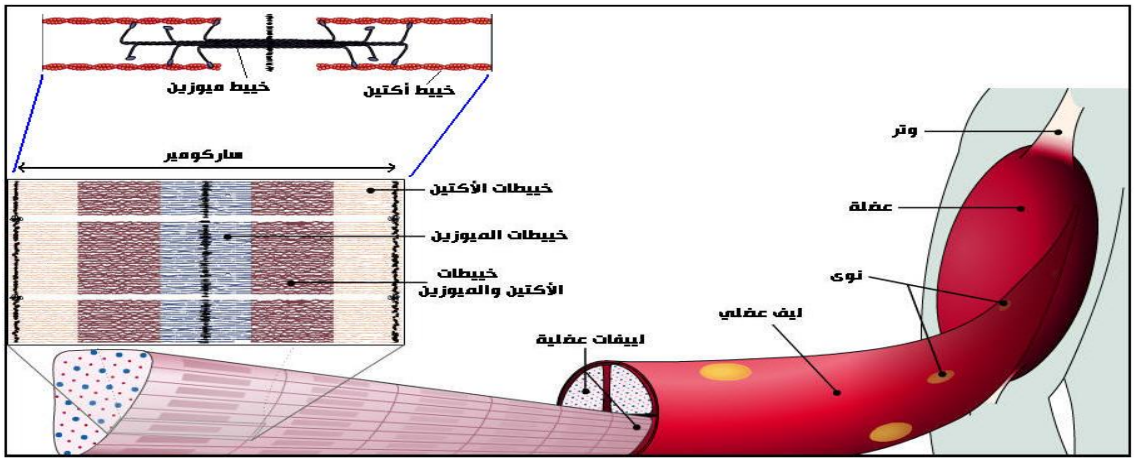
تم تشخيص 4 أنواع من الليفات العضلية التي تسهم في التقلص العضلي والتي لا توجد في الخلايا الاعتيادية:

1. المايوسين Myosin: وزنه الجزيئي حوالي 500 الف ويشكل مادة الخيوط السميكة ويكون بشكل جزيئات طويلة لها رؤوس مكورة.

2. الاكتين Actin: وزنه الجزيئي 45 ألف ويشكل الخيوط الرفيعة وهو بروتين خيطي(شبيه بالمسبحة) يأخذ شكل حلزون أو لولب مزدوج.

3. التروبومايوسين Tropomyosin: وزنه الجزيئي 60-70 ألف وهو بروتين ليفي يتمركز في ثنايا أو أخاديد لولب الاكتين.

4. التروبونين Troponin: عبارة عن معقد مكون من 3 جزيئات بروتينية كروية هي TNI و TNTو TNC تقع في أخاديد حلزون الاكتين فوق جزيئات التروبومايوسين. وكل منها له وظيفة محددة حيث يقوم TNIبمنع ارتباط المايوسين مع الاكتين في حالة الاسترخاء. أما TNC فانه يحتوي على مواقع ربط ايونات الكالسيوم. أما TNT فيقوم بربط التروبومايوسين والتروبونين على خيوط الاكتين. **(أبو العلا، 1997، ص 96)**


خيط ميوزين
خيط أكتين
ساركومير
خيطات الأكتين
خيطات الميوزين
خيطات
الأكتين والميوزين
وتر
عضلة
نوى
ليف عضلي
ليفات عضلية

المحور الثاني: التقلص العضلي

المحاضرة04 الأسبوع 04

2-التقلص العضلي:

تمهيد:

يقوم لاعب كرة القدم بحركات ناتجة عن تقلص عضلاته، ويستلزم ذلك طاقة كيميائية (ATP) يحصل عليها من خلال تفكيك المادة العضوية.

تساؤل:

كيف يمكن تحويل الطاقة الكيميائية ATP إلى تقلص عضلي(طاقة ميكانيكية)؟

- دراسة تجريبية للتقلص العضلي(الظواهر الميكانيكية):

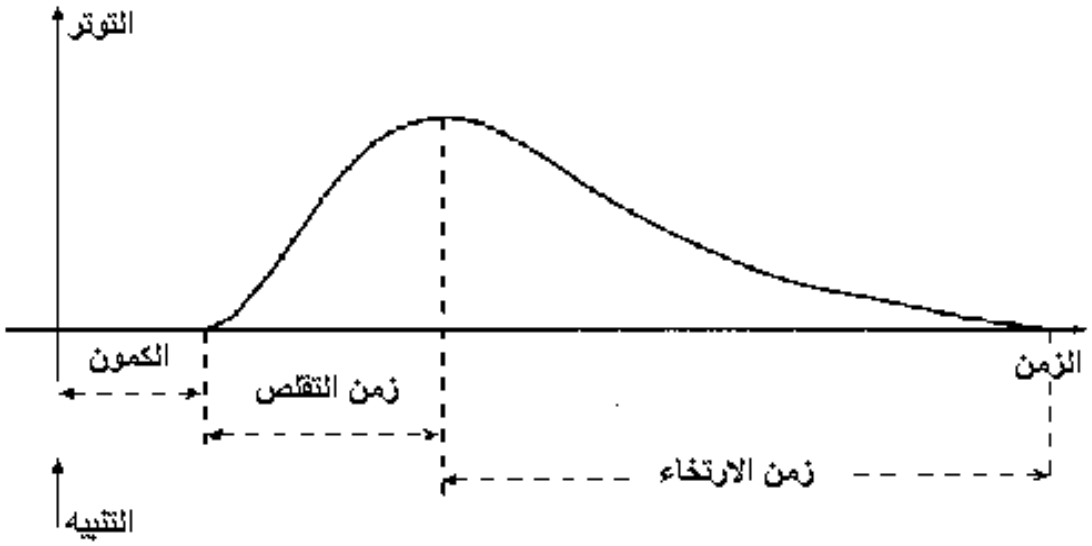
العضلات الهيكلية هي كل العضلات المرتبطة بالهيكل العظمي، وتمكن من القيام بالحركات عن طريق التقلص (الانقباض). وتتميز بصفة عامة بالمرونة، والاهتياجية (القدرة على الاستجابة لعامل مهيج منبه) و القدرة على التقلص.

- العدة التجريبية:

توصل عضلة بطن الساق لضفدعة مخربة الدماغ والنخاع الشوكي بجهاز تسجيل التقلص العضلي الذي يسمى راسمة عضلية ثم نهيج العضلة إما بطريقة مباشرة أو غير مباشرة (تهييج العصب الوركي) فنحصل على تسجيلات تسمى رسوما تخطيطية عضلية.

1 - 2 - تحليل التسجيلات العضلية:

- استجابة العضلة لإهاجة واحدة:



استخرج من الوثيقة مراحل الاستجابة العضلية.

مراحل استجابة العضلة أي الإنقباض العضلي:

مرحلة الكمون: مدتها حوالي 5 مللي ثانية وتأتي بعد التنبيه مباشرة.

يحدث فيها تغيرات عصبية، كهربائية وكيميائية.

عصبية: وصول إشارة عصبية صادرة من الجهاز العصبي لاستثارة الألياف العضلية

كهربائية: تتمثل في انعكاس أو زوال الاستقطاب أي انعكاس فرق الجهد (الكمون) الكهربائي لجدار الحلية العضلية بما يعادل 110 مللي فولط (80 مللي فولط في فترة الراحة) ويسمى ذلك فرق جهد الحركة ويظهر الكالسيوم من شبكة الساركوبلازم.

كيميائية: ويعبر عنها بإفراز مادة الأستيل كولين من النهايات العصبية عند وصول الإشارة العصبية إليها.

مرحلة التقلص (الانقباض): مدتها حوالي 40 مللي ثانية

يحدث فيها تغيرات كيميائية-حرارية و ميكانيكية.

كيميائية حرارية: عندما يصل الاستقطاب (الإثارة العصبية) ينطلق الكالسيوم داخل السيركوبلازم، حينئذ يرتبط الكالسيوم بالتروبونين وبالتالي تحرر جزيئة الـ ATPومن تم انشطارها إلى ADP + جزيئة واحدة من الفوسفات + حرارة.

ميكانيكية: تتمثل في النظرية الإنزلاقية وعملية تداخل الأكتين والميوزين وبالتالي حدوث الانقباض

مرحلة الارتخاء: مدتها حوالي 50 مللي ثانية

ظهور مرحلة الارتخاء مرتبط عدة نقاط منها:

-استجابة العضلة لإهاجة (تنبيه)واحدة أو عدة إهاجات (تنبيهات).

-كمية الطاقة ATP المحررة.

-كمية شوارد الكالسيوم المستعملة في التقلص.

- حجم التوصيل العصبين ومن ثم قوة الإنقباضة الواحدة. **(أبو العلا، 1993، ص68).**

2-مصدر الطاقة في التقلص العضلي:

المصدر المباشر للطاقة اللازمة للتقلص العضلي هي حلمأة جزيئة ATP

$$ATP + H_2O \text{ ----------> } ADP + P_i + 7{,}3Kcal$$

جزء من هذه الطاقة يستعمل في التقلص العضلي والجزء الآخر يضيع على شكل حرارة التقلص. **(محمد نصر الدين رضوان، 1998، ص73).**

فكيف يتم تحويل الطاقة الكيميائية ATP إلى تقلص عضلي (طاقة ميكانيكية)؟

- ملاحظات مجهرية:

للكشف عن بعض التغيرات التي تطرأ على الليف العضلي خلال التقلص نقترح المعطيات التالية:

يمثل الشكل1 من الوثيقة الموالية ملاحظة مجهرية لليف عضلي في حالة راحة بينما يمثل الشكل2 ليف في حالة تقلص.

الشكل1

الشكل2

1 ـ اعتمادا على مقارنة الشكلين1 و2 استخرج التغيرات التي تطرأ على الليف العضلي خلال التقلص.
2 ـ اقترح تفسيرا لهذه التغيرات.

-آلية التقلص العضلي Mechanism of muscle – contraction :

من الخصائص المعروفة للألياف العضلية الهيكلية هو أنها تتميز بوجود أقراص باهته وأخرى معتمة بالتبادل وتعرف المناطق الباهتة بالمناطق المتجانسة أو (I – band) لأنها شفافة وذات انكسار ثنائي ضعيف فتسمح بمرور الضوء .

وتعرف المناطق المعتمة بالمناطق غير المتجانسة أو شريط (A – band) لأنها ذات انكسار ثنائي حاد ولا تسمح بمرور الضوء.

يمر في منتصف كل شريط I خط داكن ويعرف Z-line ف حين يمر في كل شريط A خط باهت H-line ويطلق على الجزء الممتد بين كل خطين Z متتابعين بالقطعة العضلية Sarrcomere.

يتكون عند اتحاد الاكتين والميوسين مركب الاكتومايوسين Actomyosin الذي يتقلص في وجود ايونات البوتاسيوم والادينوسين ثلاثي الفوسفات ATP ، ولوحظ عند انقباض الليف العضلي ان الشريط I يقصر طوله في حين يبقى شريط A ثابتا و أدى ذلك إلى وضع العالم هوكسلي Houxley فرضية تعرف بفرضية الخيوط المنزلقة Sliding-Filament hypothesis تعمل على تفسير ميكانيكية التقلص العضلي وتقضي هذه الفرضية بان كل ليف عضلي يحوي نوعين من الخيوط هما :

1- خيوط رفيعة من الاكتين توجد في شريط I وتمتد الى الشريط A وتكون نهايتها غير مقابلة للجزء المتوسط من شريط I وإنما تترك مسافة فيما بينها تمثل المنطقة H .

خيوط سميكة من مادة الميوسين توجد في شريط A فقط فعند انقباض القطعة العضلية يقل طول الشريط I ويظل A ثابتا وذلك لان خيوط الاكتين الرفيعة ينزلق مقتربة من بعضها البعض حتى تلتقي في المنطقة H ولذا تختفي هذه المنطقة في العضلة المنقبضة . وعند ازدياد معدل الانقباض تستمر خيوط الاكتين في الانزلاق حتى تتداخل مع بعضها البعض وعندئذ تغدو المنطقة H معتمة ومن هذا يتضح بأنه على الرغم من التقلص العضلي إلا أن طول الخيوط فيها لا يتغير فهي تنزلق فقط وتتداخل بين بعضها البعض. تخضع جميع العضلات لقانون الكل أو اللاشئ أي أنها إما تنقبض بكامل قوتها أو لا تنقبض على الإطلاق. **(سلامة، 1994، ص102).**

المحور الثاني : التقلص العضلي الأسبوع 05

المحاضرة05

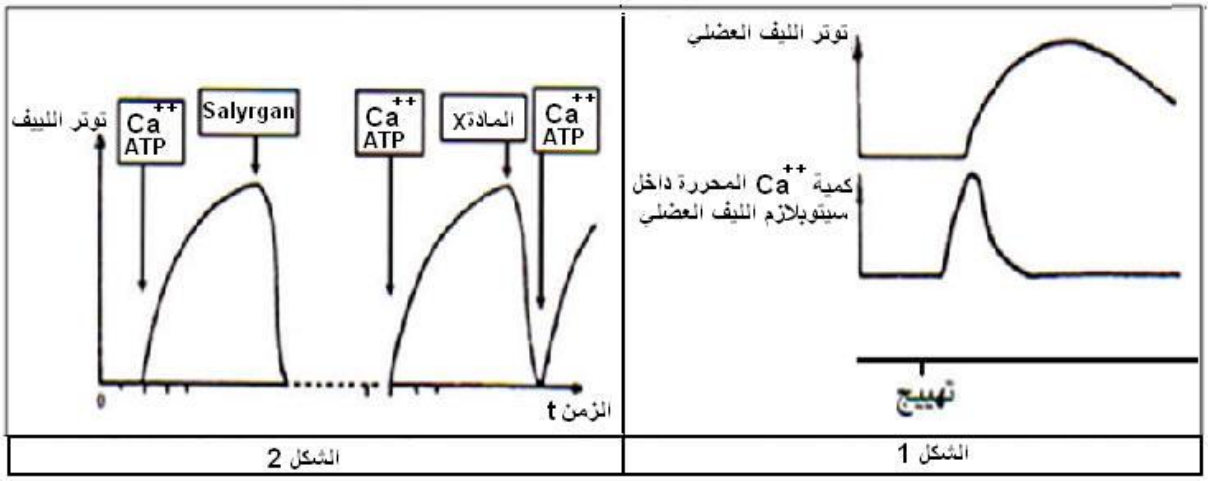
أ ـ شروط التقلص العضلي:

لتعرف شروط التقلص العضلي نقترح المعطيات التجريبية التالية:

ـ التجربة1: نقيس كل من الكالسيوم داخل ساركوبلاسم الخلية العضلية وتوترها بعد تهييجها. النتائج المحصل عليها ممثلة في مبيان الشكل1.

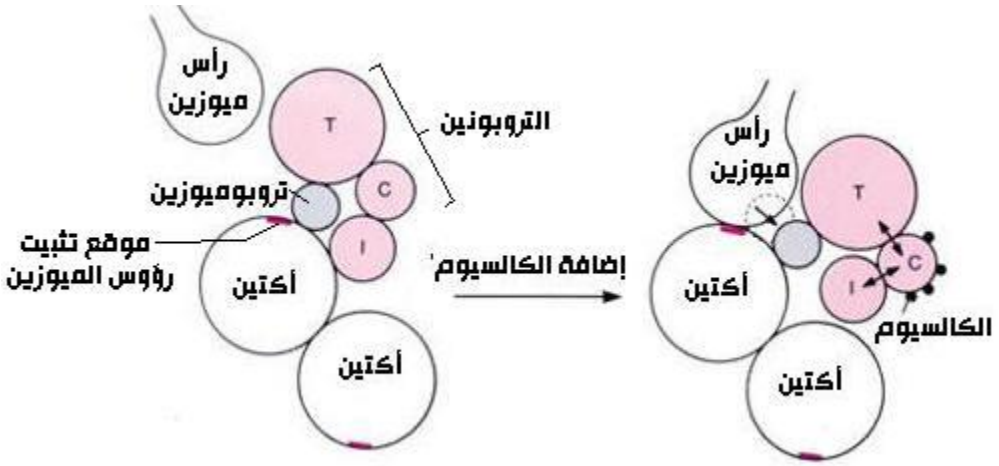
ـ التجربة2: نقيس توتر لييف عضلي بعد كل من مادة Salyrgan الكابحة لحلمأة ATP، ومادة كيميائية X ترتبط بالكالسيوم وتمنع فعله.

يعطي مبيانا الشكل2 نتائج التجربة.



الشبكة الساركوبلاسمية الداخلية غنية بالكالسيوم.

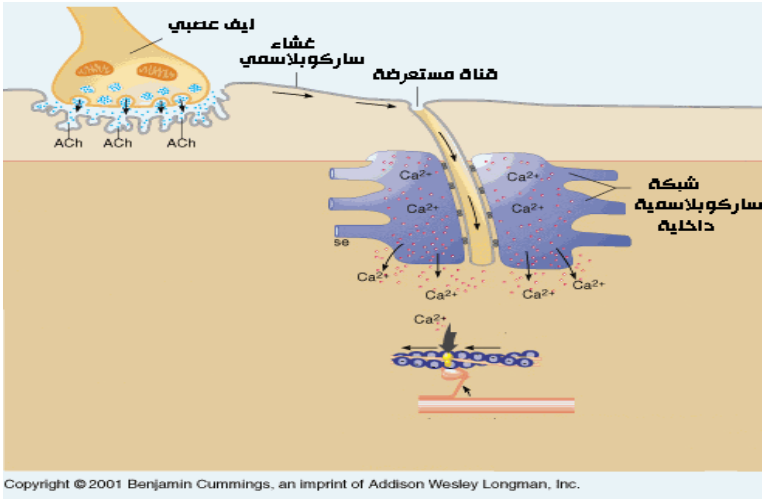
ـ التجربة3:تتم إضافة الكالسيوم إلى خيبطات الاكتين والميوزين. تمثل الوثيقة التالية النتيجة المحصل عليها:



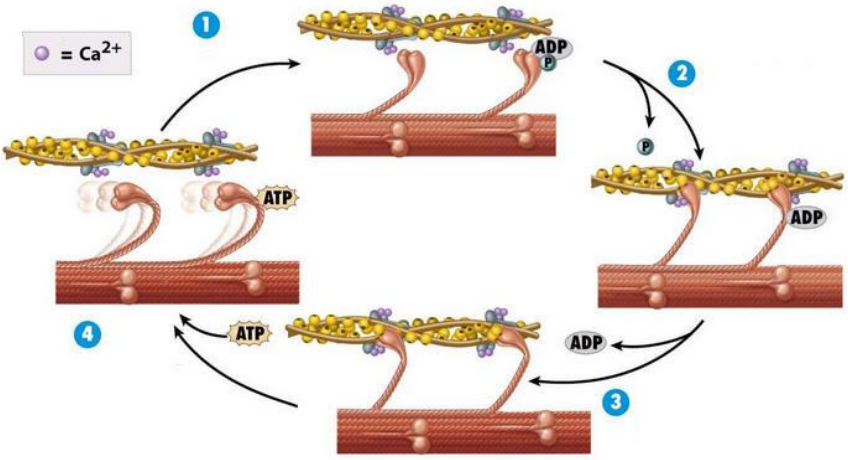
1 ـ باستنادك إلى التجربتين1 و2، استخلص شروط التقلص العضلي.
2 ـ اعتمادا على نتائج التجربة3، استنتج دور الكالسيوم.

ب ـ مراحل التقلص العضلي:

للكشف عن مراحل التقلص العضلي، نقترح الوثائق التالية:
تمثل الوثيقة1 منطقة اتصال الألياف العصبية والعضلية.



تمثل الوثيقة2 مختلف مرحل التقلص العضلي.



ـ انطلاقا من الوثيقتين1 ,2، استخرج مراحل التقلص العضلي.

*** نظرية الانزلاق الخيطي Sliding filament theory:**

هي النظرية التي تفسر آلية التقلص العضلي ويعزى فيها التقلص إلى انزلاق الخيوط السميكة فوق الخيوط الرفيعة وتعزى هذه الحركة إلى اتصال الجسور العرضية للمايوسين بخيط الاكتين ويمكن إيجازها بالاتي:

1. تكون خيوط المايوسين والاكتين متوازية وتمتد الجسور العرضية للمايويسين باتجاه خيوط الاكتين ولكنها تمنع من الاتصال بالمواقع الفعالة من خيوط الاكتين لكونها مغطاة بالتروبومايوسين.

2. عند تنبيه العضلة الهيكلية يسري جهد الفعل في غشاء الليف العضلي الى الداخل وعند وصوله الى الشبكة الساركوبلازمية يتحرر Ca^{+2} من داخلها ويرتبط مع TNC الذي يتغير شكله ويقوم بإزاحة TNI من موقعه و سحب خيط التروبومايوسين فتنكشف المواقع النشطة للاكتين وترتبط رؤوس الجسور العرضية بخيط الاكتين.

3. يقوم رأس الجسر العرضي بالانتقال من موقع فعال إلى أخر على طول خيط الاكتين وفي الوقت نفسهيدور حول نفسه فيولد شدا في الجسر ينتقل الشد المتولد إلى الخيط الغليظ فينسحبخيط الاكتين لينزلق فوقالمايوسين.

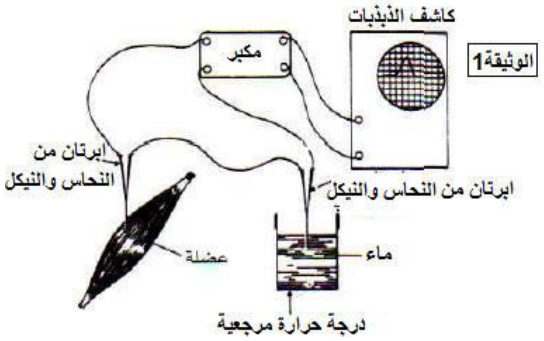
4. يتحلل ATP لتوفير الطاقة لفك ارتباط رأس الجسر العرضي مع خيط الاكتين في كل مرة يتم الاتصال بينهما ليصبح الرأس حرا من جديد.

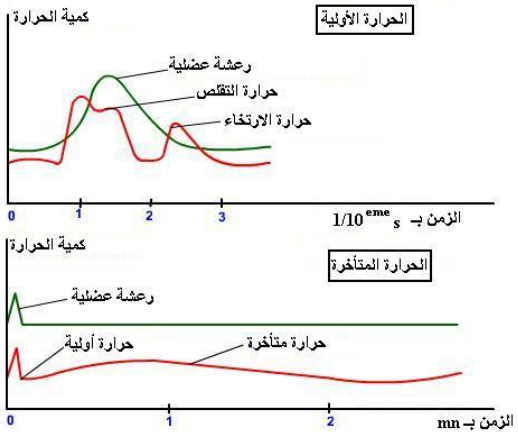
5. ولحين ورود جهد فعل أخر تعود ايونات الكالسيوم الى داخل الشبكة الساركوبلازمية تاركة TNC ليعود الى شكله الطبيعي فيرجع كل من التروبونين والتروبومايوسين الى موقعهما وتنفصل الجسور العرضية للمايوسين عن الاكتين ويحدث ارتخاء العضلة.

تحول العضلة الطاقة الناتجة عن حلمأة ATP (طاقة كيميائية) إلى انزلاق خيطات الأكتين بالنسبة للميوزين (طاقة ميكانيكية) ويصرف جزء من هذه الطاقة على شكل حرارة (طاقة حرارية) فالعضلة إذن محول للطاقة من حالتها الكيميائية إلى حالتها الميكانيكية والحرارية. **(سلامة، 2000، ص98).**

2 ـ الظواهر المرافقة للتقلص العضلي:

للكشف عن الظواهر المصاحبة للتقلص العضلي نقترح المعطيات التالية:
تمثل الوثيقة 1 العدة التجريبية لقياس درجة حرارة العضلة خلال النشاط العضلي وكذا نتائج هذا القياس:





تمثل الوثيقة 2 مقارنة لبعض العناصر على مستوى العضلة في حالة راحة وحالة نشاط.

الوثيقة2	خلال ساعة بالنسبة لـ 1Kg من العضلة	
	في حالة راحة	في حالة نشاط
حجم الدم الذي يعبر العضلة(l)	12.220	56.325
حجم O_2 المستهلك (l)	0.307	5.207
حجم CO_2 المطروح (l)	0.220	5.950
كمية الكليكوز المستهلكة(g)	2.042	8.432
البروتيدات المستهلكة(g)	0	0
الدهون المستهلكة(g)	0	0

1 ـ باستغلالك للوثيقتين 1و2، استخلص الظواهر المصاحبة للتقلص العضلي.

*** إنتاج الحرارة في العضلة Heat production of muscle**

1. الحرارة الأولية Initial H: تنبعث خلال فترة تقلص وارتخاء العضلة وتقسم إلى نوعين:

أ. حرارة الانكماش .Shortening H: تكون قوية وتدوم لفترة قصيرة مصدرها تحول ATP إلى ADP.

ب. حرارة الارتخاء .Relaxation H: اقل شدة من سابقتها وتدوم لفترة زمنية أطول وسببها احتكاك ألياف العضلة مع بعضها عند الارتخاء.

2. الحرارة المتأخرة أو حرارة الترميم .Delay or Recovery H: هي الحرارة التي تنبعث حتى بعد ارتخاء العضلة وتعزى إلى تمثيل الكلوكوز والكلايكوجين وإعادة تكوين ATP و ADP.

المحور الثاني: التقلص العضلي

المحاضرة 06 الأسبوع 06

ثانيا: التعب العضلي

1-مفهومه وأنواعه:

تعريف التعب العضلي:

عدم القابلية على استمرارية المحافظة على إنتاج القدرة أو القوة خلال تكرار تقلصات العضلة،

التعريف الأخر للتعب العضلي هو انخفاض مؤقت في قابلية أداء العضلات.

مفهوم التعب العضلي:

يتعرض الرياضي عند الاستمرار في أداء جهد بدني (شدة عالية بوقت قصير، أو شدة تحت القصوى بوقت طويل) إلى ما يعرف بظاهرة التعب والذي تتضح معالمه في صورة انخفاض في مستوى كفاءة العمل.

وللتعرف على ظاهرة التعب الميكانيكي و الفسيولوجيا الخاصة به، لوحظ وجود اتجاهين لتفسير هذه الظاهرة، البعض يرى أن الاتجاه الأول للتعب يكمن داخل الجهاز العصبي المركزي ويدعى (بالتعب المركزي)، إن هذا التعب ينتج من جراء انخفاض كفاءة عمل المراكز العصبية بما يؤدي إلى ظهور حالة التعب، أما البعض الأخر فيرى أن الاتجاه الثاني للتعب يكمن داخل العضلة العاملة نفسها إذ تتجمع نواتج الاحتراق خلال العمل البدني. **(حشمت، 2003، ص65)**

أنواع التعب:

قسم أبو العلا عبد الفتاح التعب إلى أربع أنواع :

1- التعب الذهني.

2- التعب الحسي.

3- التعب الانفعالي.

4- التعب البدني.

أ- التعب الموضعي.

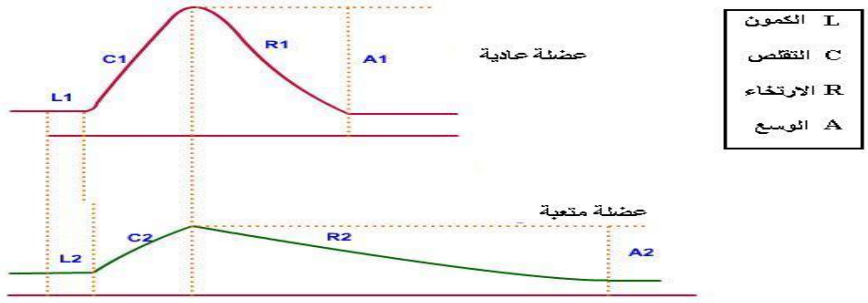
ب- التعب الجزئي.

ج- التعب الكلي.

حتى يمكن التخلص من التعب الناتج عن التدريب أو المنافسة وتحديد وسيلة الاستشفاء المناسبة يجب التعرف على أنواع التعب المختلفة، فالتعب ليس مجرد ظاهرة من نوع واحد لا تتغير مظاهره أو أسبابه من نشاط رياضي إلى آخر، ولكن على العكس من ذلك فان التعب ظاهرة متعددة الأوجه و الأسباب، فكما إن أنشطة الإنسان تتنوع و الأعمال التي ترتبط بدرجة عالية من التركيز الحسي وغيرها، تختلف أيضا أسباب حدوث التعب تبعا لمتطلبات الأداء البدنية والفسيولوجية والتي تختلف تبعا لطبيعة النشاط المستخدم ذاته. **(حشمت، 2003، ص65)**

2-آلية حدوث التعب العضلي فيزيولوجيا ووظيفيا:

نخضع العضلة لتنبيه واحد فنحصل على رعشة عضلية1، بعد ذلك نخضعها لسلسلة من الاهاجات غير مسجلة، وفي النهاية نخضعها لتنبيه أخير فنحصل على المخطط 2.



1 ـ باستغلالك للوثيقة، استخلص مميزات التعب العضلي.

2-1-العوامل الميكانيكية للتعب:

إن العامل الميكانيكي الرئيسي للتعب الذي له علاقة بالتعب هو "دورة الجسور المستعرضة"، الذي يعتمد عملها على:

-الانسجام الوظيفي بين اللاكتين و المايوسين.

-توفر Ca^{++} لكي يرتبط مع التروبوتين (troponin- بروتين التقلص) الذي يعمل على تقوية الترابط مع اللاكتين.

-توفير ATPالذي يحتاج له في تنشيط الجسور المستعرضة لإحداث حركة تلاحم وتحرير الجسر المستعرض من اللاكتين.

- التركيز العالي H^+ (أيون الهيدروجين) نتيجة تجزئه حامض اللاكتيك (إلى H^+ و لاكتيك), يساهم في التعب بطرق مختلفة).

أ- خفض القوة في الجسور المستعرضة.

ب- خفض القوة المتولدة من تركيز معين لـ Ca^{++}، إذ يعمل كعازل للترابط بين Ca^{++} وبروتين التقلص- troponin.

ج- يعمل على كبح الشبكة الهيولية من إطلاق Ca^{++}.

2-2-العوامل الكيمائية للتعب:

التعب ببساطة هو نتيجة عدم التوازن بين حاجة العضلة من ATP وقابليتها على تكوين ATP. عند بداية التمرين تزداد الحاجة إلى ATP وتظهر سلسلة من ردود الأفعال لتكوين ATP وإعادة توفره مرة ثانية. خلال استهلاك الجسور المستعرضة لـ ATP وتكوين ناتج ADP يبدأ مباشرة بتزويد PC (فوسفات كرياتين) لإعادة تكوين ATP (ATP +C ADP+ PC)، وعندما يبدأ PC بالتناقص يستمر ADP بالتراكم, عند إذن يظهر رد فعل خميرة العضلة (Myokinase) لتكوين ATP. يؤدي تراكم هذه المنتجات إلى التحفيز بتحليل السكر لتكوين ATP إضافي مما ينتج عنه تراكم +H، أثناء زيادة الحاجة لتكوين ATP تظهر ردود أفعال مختلفة في الخلية تعمل على تحديد الشغل داخل الخلية من أجل حمايتها من الضرر، هذه إحدى الآليات لحماية العضلة من التعب، ماهي الإشارات التي ترسل إلى العضلة بالتباطيء في استخدام الطاقة وخفض أدائها؟ عندما لا تحافظ الميكانيكية على تكوين ATP واستمرارية استخدامه, يبدأ الفسفور اللاعضوي Pi بالتراكم في

الخلية (توقف تحويل Pi و ADP إلى ATP)، زيادة Pi يبدأ في تثبيط القوة القصوى، إذ يعمل Pi بصورة مباشرة على الجسور المستعرضة ويخفض من ارتباطه مع اللاكتين، من المثير إن الخلايا لا ينفذ منها ATP، حتى في حالات التعب الشديد جدا، حيث لا يخفض مستوى ATP عن **70%** في الخلايا مقارنتا مع مستواه قبل التمرين، إن العوامل المسببة للتعب تؤدي إلى خفض كمية استخدام ATP مقارنتا مع نسبة استمرار تكوينه لذا يحافظ ATP على تركيز.

2-3- الخصائص الفسيولوجية للتعب:

1- التعب ناتج عن ميكانيكية الإعاقة التي تسببها المراكز العصبية من جراء الإنهاك الوظيفي.
2- نتيجة التعب العضلي تحدث إعاقة في منطقة الحركة في القشرة المخية في الدماغ.
3- نتيجة التعب يختل توازن نظام العمليات العصبية.
4- يعمل التعب على تغير نظام تبادل المواد داخل الخلية العصبية لذا تحدث ردود أفعال معقدة داخل الجهاز العصبي المركزي.
5- نتيجة التعب يحدث انخفاض في وصول الأوكسجين إلى الخلايا مما يؤدي إلى انخفاض الإشارة.

4-الاستشفاء من التعب العضلي:

إذا حفزت العضلة بصورة مستمرة لفترة من الزمن فإنها سرعان ما تعجز عن القيام بالتقلص بالرغم من استمرار التحفيز وتدعى هذه الظاهرة بالإعياء وتزول هذه الحالة بترك العضلة بدون تحفيز لمدة من الزمن. وللإعياء أسباب كثيرة أهمها:

1. تراكم الفضلات مثل حامض اللاكتيك وغيره من الألياف العضلية.

2. نقص الغلايكوجين والكلوكوز أو ATP والأوكسجين أو نفاذ الاسيتل كولين عند الاندماج العضلي العصبي.

المــراجـــع باللغة العربية:

1- أبو العلا أحمد عبد الفتاح السيد، فيسيولوجيا اللياقة البدنية، ط1، دار الفكر العربي، القاهرة، 1993.

2- محمد نصر الدين رضوان، طرق قياس الجهد البدني في الرياضة، ط1 مركز الكتاب للنشر، القاهرة، 1998.

3- أحمد عبده خليل، بكر محمد سلام، دراسة تأثير تراكم مستويات عالية من حمض اللاكتيك، مجلة التربية البدنية، العراق، 2004.

4- محمد حسن علاوي، علم التدريب الرياضي، ط3، دار المعارف، القاهرة،1997.

5- أحمد نصر الدين السيد، فسيولوجيا الرياضية، نظريات وتطبيقات، ط1، دار الفكر العربي، القاهرة، 2003.

6- بهاء الدين سلامة، فسيولوجية الرياضة والأداء البدني لاكتات الدم ، دار الفكر العربي، القاهرة، 2000.

7- هزاع بن محمد الهزاع، فسيولوجيا الجهد البدني، ج2، الرياض، 2009.

8- أبو العلا احمد عبد الفتاح، التدريب الرياضي الأسس الفسيولوجية، دار الفكر العربي، القاهرة، 1997.

9- كاظم جابر أمير، الاختبارات والقياسات الفسيولوجية في المجال الرياضي، ط2، منشورات ذات السلاسل، الكويت، 1999.

10- أبو العلا احمد عبد الفتاح، بيولوجيا الرياضة وصحة الرياضي، دار الفكر العربي، القاهرة، 2000.

11- بهاء الدين سلامة، فسيولوجيا الرياضة، ط2، القاهرة، دار الفكر العربي، 1994.

12- حسين أحمد حشمت ونادر محمد شلبي . فسيولوجيا التعب العضلي، ط1، مركز الكتاب للنشر، القاهرة ،2003.

13- محمد حسن علاوي، أبو العلا احمد، فسيولوجيا التدريب الرياضي، القاهرة، دار الفكر العربي . 2000 .

14- محمد رضا حافظ الروبي، برامج التدريب وتمرينات الإعداد. ط1، ناهي للنشر والتوزيع وخدمات الكمبيوتر، الإسكندرية، 2007.

15- الكيلاني عدنان هاشم، فيسيولوجيا الجهد البدني والتدريبات الرياضية، ط1، دار المعارف، القاهرة، 2010.

المــراجـــع باللغة الأجنبية:

16- ASTRAND,P-O. & RODAHL,K. Textbook of Work Physiology, Published by McGraw-Hill Book company, New York . 1977

17- FOX.E. & MATHEWS, D. The Physilogical Basis of Physical Education and Athletics. 3rd. ed. Saunders College Publishing , Philadelphia . 1981

18- Landor, A. Maaroos, J. Vider, J, Laepir, M. 2003 Thw Effteet of physical exercise of Different Intensity on the blood parameters in athketes, papers on Anthropologg.

19- Scottk Powers,Edward.T.howly:Exercise physiology. Ed.,New Yourk.mograw.2001.

20- Westerterp K. Saris W. Limite of energy turnover in relation to physical performance, achievement of energy balance on a daily bases. Landon,1992.