الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة وهران للعلوم والتكنولوجيا"محمد بوضياف"

معهد التربية البدنية والرياضية

مطبوعة

عنوان: فسيولوجيا الجهد البدني

محاضرات،و أعمال موجهة

ميدان: علوم وتقنيات الأنشطة البدنية والرياضي

المستوي: السنة ثانية ليسانس

السداسي: الثاني

من إعداد: د/بوفادن عثمان

الرتبة: أستاذ محاضر "ب"

السنة الجامعية:2020-2021

قائمة المحتويات

العنوان	الصفحة
ملخص.....	1
1-مدخل لفسيولوجيا الجهد البدني	2
1-1:تعريف فسيولوجيا الجهد البدني.....	2
1-2:مصطلحات فسيولوجية.....	2
-الاستجابة.....	2
-التكيف	2
-فترة الإسترداد.....	2
-النشاط البدني الهوائي	2
-النشاط البدني اللاهوائي	2
1-3:مصطلحات ميكانيكية	2
-القوة	2
-الشغل	2
-القدرة	2
-الطاقة	2
1-4:مصطلحات وظيفية	2
-شدة التمرين	2
-الطاقة المصروفة	2
-الإستهلاك الأقصى للأكسجين	3
-احتياطي استهلاك الأكسجين	3
-المكافيء الأيضي.....	3
-ضربات القلب القصوى	3
-احتياطي ضربات القلب	3
1-5:أنظمة جسم الإنسان	3
1:نظام التمثيل الغذائي (الأيض)	3
2:الجهاز العصبي العضلي	4
3:الجهاز الدوري التنفسي	4
4:الجهاز الهرموني	5
2:قياس الجهد البدني	7
2-1: تعريف القياس	7
2-2:تعريف الاختبار	7
2-3:تعريف التقويم	7

2-4:أهداف القياس والاختبار والتقويم..... 7
1- التصنيف 8
2- التشخيص 8
3- التنبؤ 8
4- التحفيز 8
5- الإنجاز..... 8
6- تقويم البرامج 8
2-5:أهداف التقويم الفسيولوجي..... 8
2-6:وحدات قياس الجهد البدني 9
1_الشغل 9
2-القوة 9
3- الكتلة..... 9
4_ القدرة..... 10
5_الطاقة..... 10
2-7: قياس و تقنين الجهد البدني..... 10
أولا:الدراجة الأرجومترية..... 10
ثانيا: السيرالمتحرك..... 12
ثالثا: صندوق الخطوة..... 14
3-1:مصادر إمداد العضلات بالطاقة..... 15
3-1-1:ثلاثي فوسفات الأدينوزين(ATP Adénosine Triphosphate)..... 15
3-1- 2: فوسفات الكرياتين (PC) phosphate creatine..... 16
3-1-3: الجليكوجين Glycogen 17
3-1-4:الدهون Fats..... 17
3-2- أنظمة الطاقة 18
3-2-1:النظام الفوسفاتي (ATP-PC) 18
3-2-2: النظام اللاكتيكي 19
3-2-3:النظام الهوائي..... 21
3-2-3-1:الجلكزة الهوائية Aerobic glycolysis 21
3-2-3-2: دورة كريبس Krebs cycle..... 22
3-2-3-3:سلسلة نقل الإلكترون: The electron transport System 23
3-3: تداخل أنظمة الطاقة أثناء الجهد البدني 26
4-الجهاز العضلي 29

4-1:أنواع العضلات في الجسم 29
4-1-1:العضلات الناعمة Smooth Muscles 29
4-1-2:العضلة القلبية:Cardiac Muscles 29
4-1-3:العضلات الهيكلية:Skeletal Muscles 30
4-1-3-1:تركيب العضلات الهيكلية..... 30
4-2:دور الكاليسيوم The Role Of Calcium..... 33
4-3:الوحدة الحركية : The motor unit..... 34
4-4:كيف يحدث الانقباض العضلي 34
4-5:كيف ينتقل السيال العصبي إلى داخل الليف العضلي وما هو دور الكالسيوم في الانقباض العضلي؟ 35
4-6:نظرية الخيوط المنزلقة The Sliding filament Theory..... 36
4-7:من أين تأتي هذه الطاقة التي تتسبب قي هذه الحركة وهذا الانزلاق .....
4-8:أنواع الألياف العضلية..... 36
4-8-1 الألياف العضلية البطيئة Fibres lentes..... 37
4-8-2 الألياف العضلية السريعة Fibres rapide..... 37
4-9:نوع الألياف العضلية و التدريب..... 38
4-10:أنواع الانقباضات العضلية..... 39
4-10-1: الانقباض العضلي الثابت (Isometric)..... 39
4-10-2: الانقباض العضلي المتحرك (Dynamic) 39
4-10-2-1:الانقباض العضلي الايزوتوني:Contraction isotonique 39
4-10-2-2: الانقباض المشابه للحركة أيزوكينتيك isocinétique 40
4-10-2-3:الانقباض البليومتري Contractionpliométrique..... 40
4-11:علاقة التقلص العضلي بتراكب خيوط الأكتين و الميوسين..... 40
4-12:علاقة سرعة التقلص بالحمل..... 41
4-13:اختبار القوة العضلية..... 41
5- الجهاز التنفسي 42
5-1:تركيب الجهاز التنفسي 42
5-1-1 منطقة التوصيل conducting part..... 42

5-1-2 منطقة التنفس respiratory part 42
5-2:وظائف الجهاز التنفسي 43
5-3:عملية التنفس و التبادل الغازي 43
1- التهوية الرئوية pulmonary ventilation 43
2- الانتشار الرئوي pulmonary diffusion 44
3- عملية نقل الغازات gas transport 44
4- مرحلة الانتشار الخلوي cellular diffusion 44
5-4:التغذية العصبية للجهاز التنفسي 44
5-5:التحكم في التنفس 44
5-6:التهوية الرئوية أثناء الراحة: Pulmonary Ventilation At Rest 45
5-7:التهوية الرئوية أثناء التمرينات: Pulmonary Ventilation During Exercise 45
5-8:السعات والحجوم التنفسية والرئوية 46
5-8-1:الحجوم التنفسية الرئوية 46
5-8-2:السعات الرئوية: 47
5-9:تكيف العمليات التنفسية للجهد البدني 47
6- الجهاز القلبي الوعائي (الجهاز الدوري) 49
6-1 القلب 49
6-2- الدورة الدموية blood circulation 51
7-1-استجابة الجهاز الدوري للجهد البدني 52
7-1-1:معدل القلب heart rate 52
7-1-2:معدل القلب في الراحة: resting heart rate 52
7-1-3:معدل القلب أثناء التمرين: heart rate during exercise 53
7-1-4:معدل القلب الأقصى: maximum heart rate 53
7-1-5:حجم الدفعة أثناء التمرين: Stroke volume increase with exercise 55
7-1-6:الدفع القلبي cardiac output 55
7-2: كيفية قياس حجم نتاج القلب 57
7-2-1: قياس نتاج القلب بواسطة معادلة فك (fick equation) 57
7-2-2: قياس نتاج القلب بواسطة الصبغة الملونة أو(المشعة) 58
7-2-3: قياس نتاج القلب بواسطة إعادة استنشاق ثاني أكسيد الكربون (CO2) 58
7-3:استجابة معدل القلب لنوع التدريب 58

7-4:تأثير التدريب على استشفاء معدل القلب 59
7-5:طرق تحديد حمل التدريب عن طريق نبض القلب 60
7-5-1:طريقة أقصى معدل للنبض (FCMAX)..... 60
7-5-2:طريقة كارفونين. 60
8-1:التحمل اللاهوائي 61
8-2:الدين الأكسجيني..... 64
8-3:العجز الأكسجيني..... 65
9- التحمل الهوائي 66
9-1:المستهلك الأقصى الأكسجيني VO_{2MAX} 68
9-1-1:طرق القياس VO_{2MAX}..... 68
9-1-1-1:الطريقة المباشرة 69
9-1-1-2 : الطريقة غير المباشرة 70
9-2:السرعة الهوائية القصوى VMA و القدرة الهوائية القصوى PMA 71
9-3:استجابة و تكيفات المستهلك الأقصى الأكسجيني للجهد البدني و التدريب 72
9-4:العتبة الفارقة الهوائية و اللاهوائية 73
9-5:منطقة الانتقال هوائي-لاهوائي zone de transition aérobie-anaérobie 74
9-6:طرق قياس العتبة الفارقة اللاهوائية و الهوائية 75
9-6-1:طريقة إنكسار التهوية الرئوية..... 75
9-6-2:طريقة تحديد حمض اللاكتيك..... 77
9-6-3:تحديد العتبة الفارقة اللاهوائية و الهوائية باستخدام معدل نبض القلب 79
9-7:العتبة الفارقة اللاهوائية و التدريب 80

ملخص :

يعتبر علم فسيولوجيا الجهد البدني من العلوم الأساسية التي يتلقاها طالب علوم و تقنيات النشاطات البدنية و الرياضية في كل التخصصات،و لذلك لارتباطه بالأداء الرياضي و النشاط البدني بشكل مباشر،فالتعامل مع الآلة البشرية يتطلب معرفة كل ما يتعلق بها من حيث الجانب التشريحي و الوظيفي لأنظمة و أجهزة الجسم المختلفة و علاقتها مع بعضها و كذا معرفة التأثرات الناتجة عن تطبيق مختلف الأحمال الخارجية عليها سواء كاستجابة أو تكيف.

و إن أي تقصير أو خطأ في التعامل مع الرياضي قد يؤدي إلى هبوط في مستوى الأداء لديه أو قد يؤدي إلى وصوله إلى حالة الإجهاد و قد يترتب عنه أسوء من هذا بكثير،لذا يجب إبداء الأهمية اللازمة لهذا المقياس من قبل الطالب حتى يستطيع التعامل مع كل الحالات و الاستفادة منه قدر الإمكان في الجانب العلمي و العملي في المدارس ، مراكز الشباب و الأندية الرياضية.

1-مدخل لفسيولوجيا الجهد البدني :

1-1تعريف فسيولوجيا الجهد البدني:

العلم الذي يبحث في استجابة وظائف أجهزة الجسم المختلفة للجهد البدني و تكيفها للتدريب ،و هو علم انبثق من علم الفسيولوجيا الذي يهتم بدراسة وظائف أعضاء الجسم على المستوى الجهازي ، النسيجي ، الخلوي و الجزيئي.

1-2 مصطلحات فسيولوجية:

-**الاستجابة**:هي التغيرات الفسيولوجية الآنية للنشاط البدني

- **التكيف**: هي التغيرات الفسيولوجية المزمنة للنشاط البدني.

- **فترة الاسترداد**: **هي** الفترة التي تعقب فترة التوقف عن أداء الجهد البدني مباشرة.

- **النشاط البدني الهوائي**: هو نشاط بدني معتدل الشدة إلى دون الأقصى يمكن الاستمرار فيه دون الشعور بتعب يعيق الاستمرار في الأداء

- **النشاط البدني اللاهوائي**: هو نشاط بدني عالي الشدة لا يمكن الاستمرار فيه لأكثر من دقيقة .

1-3 مصطلحات ميكانيكية:

-**القوة** :هي تغيير حالة الجسم سواء الساكنة أو المتحركة .

-**الشغل** :هو القياس الكمي للقوة الناتجة عن تغيير موقع كتلة لمسافة معينة.

-**القدرة**:هي معدل تنفيذ الشغل في زمن معين.

-**الطاقة**:هي محصلة كل من الشغل الميكانيكي للعضلة و الحرارة المنبعثة منها.

1-4 مصطلحات وظيفية:

-**شدة التمرين** :مقياس لحجم الشغل المبذول خلال التمرين و يمكن تحديدها بالنسبة للحد الأقصى لمؤشر ما(ضربات القلب،استهلاك الأكسجين) و قد يعبر عنه بمنخفض ،متوسط ، شديد أو بنسبة مئوية لمؤشر ما.

-**الطاقة المصروفة**: هي الطاقة التي تسمح لنا بتقدير الشغل البدني المبذول خلال النشاط أو الجهد البدني و يعبر عنها بالاستهلاك الأقصى للأكسجين أو بالمكافئ الأيضي أو بالكيلو سعر حراري أو بالكيلو جول.

–الاستهلاك الأقصى للأكسجين:هو أقصى كمية أكسجين تستهلك أثناء النشاط البدني و هي تعتمد على معدل الشغل المبذول .

–احتياطي استهلاك الأكسجين:هو مقدار الفرق بين الاستهلاك الأقصى للأكسجين و استهلاك الأكسجين في الراحة .

–المكافئ الأيضي: معدل الطاقة المصروفة أثناء الجهد البدني بالنسبة الى معدل الطاقة المصروفة أثناء الراحة.

–ضربات القلب القصوى: هي أقصى معدل لضربات القلب في الدقيقة.

احتياطي ضربات القلب : هو الفرق بين ضربات القلب القصوى و ضربات القلب في الراحة

1–5 أنظمة جسم الإنسان :

1– نظام التمثيل الغذائي (الأيض)

- إنتاج الطاقة
- التوازن بين مدخول الطاقة ومخرجاتها لتكوين الجسم والتحكم في الوزن

FIGURE 1.2 Schematic Representation of Text Organization.

الشكل رقم(1)وظيفة نظام التمثيل الغذائي

يشير التمثيل الغذائي إلى مجموع جميع العمليات الكيميائية التي تحدث داخل الجسم. بالنسبة لدراسة فسيولوجيا التمرين ، فإن أهمية عملية التمثيل الغذائي هي كيف تقوم الخلايا العضلية بتحويل المواد الغذائية مع الأكسجين أو بدونه إلى طاقة كيميائية (على شكل أدينوسين ثلاثي الفوسفات) للنشاط البدني.

بدون إنتاج الأدينوسين ثلاثي الفوسفات من خلال عمليات التمثيل الغذائي ، لا يمكن أن يكون هناك حركة من قبل الجهاز العصبي العضلي في الواقع ، لا يمكن أن تكون هناك حياة. نظرًا لأن معظم إنتاج الطاقة يتطلب وجود الأكسجين ، فإن التمثيل الغذائي يعتمد إلى حد كبير على عمل الجهاز التنفسي القلبي.

2- الجهاز العصبي العضلي:

FIGURE 1.2 Schematic Representation of Text Organization.

الشكل رقم(2)يوضح وظيفة النظام العصبي العضلي

• الحركة (تمرين)• الحركة الناتجة عن تقلص العضلات (تحت التحفيز العصبي الذي يعمل على الرافعات العظمية للجهاز الهيكلي).

يؤدي تقلص عضلات الهيكل العظمي ، عن طريق شد الروافع العظمية للجسم ، إلى الحركة. يوفر الجهاز العصبي الإشارة الكهربائية التي تسبب تقلص العضلات الهيكلية. ومن ثم ، فإن التمرين ، بحكم التعريف ، هو النتيجة المباشرة للنشاط العصبي العضلي. ستتناول هذه الوحدة كيفية عمل الأنظمة الهيكلية والعضلية والعصبية معًا لإحداث حركة من أي نوع ، بما في ذلك التمارين. ومع ذلك ، فإن هذه الأنظمة ليست هي أجهزة الجسم الوحيدة التي تلعب دورًا في التمرين والحركات الأخرى. لكي تنقبض العضلات ، يجب أن تنتج الطاقة باستمرار (ATP)، مما يعني أن نظام التمثيل الغذائي مسؤول أيضًا عن تقلص العضلات ، وبالتالي ممارسة الرياضة. علاوة على ذلك ، فإن الجهاز التنفسي القلبي مسؤول عن إمداد الخلايا العضلية بالأكسجين ، مما يدعم إنتاج ATPالضروري للتقلصات المستمرة.

3- الجهاز الدوري التنفسي:

الدوري:

• نقل الأوكسجين وركائز الطاقة إلى الأنسجة العضلية

• نقل المخلفات

التنفسي:

• دخول الهواء إلى الجسم

• انتشار الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في الرئتين وأنسجة العضلات

• إزالة ثاني أكسيد الكربون من الجسم

يجلب الجهاز التنفسي القلبي الأكسجين إلى الجسم (الجهاز التنفسي) وينقله إلى الخلايا (نظام القلب والأوعية الدموية) ، التي تستخدم الأكسجين في إنتاج الطاقة من خلال عملية التنفس الخلوي. وبالتالي ، فإن الجهاز التنفسي والجهاز القلبي الوعائي مرتبطان وظيفيًا وغالبًا ما يشار إليهما معًا باسم الجهاز التنفسي القلبي الوعائي أو الجهاز التنفسي القلبي. يدعم الجهاز التنفسي القلبي عملية التمثيل الغذائي بشكل مباشر عن طريق توصيل الأكسجين والمواد المغذية إلى خلايا الجسم. يقوم إنتاج الأيض من ATPمن الأكسجين والمواد الغذائية بدعم الجهاز العصبي العضلي بشكل مباشر من خلال توفير الطاقة لتقلص العضلات. يلعب الجهاز الهرموني دورًا مهمًا في تنظيم كل من الجهاز التنفسي والقلب والأوعية الدموية.

FIGURE 1.2 Schematic Representation of Text Organization.

الشكل رقم (3) يوضح وظيفة النظام الدوري التنفسي

FIGURE 1.2 Schematic Representation of Text Organization.

الشكل رقم (4) يوضح وظيفة النظام الهرموني

4- الجهاز الهرموني

• الحفاظ على التوازن

• تنظيم استجابة الجسم للتمرين والتكيف مع التدريب

يلعب الجهاز العصبي والغدد الصماء والجهاز المناعي دورًا حيويًا في تنظيم وتنسيق استجابة الجسم للتمرين والتكيف مع التدريب. يعمل الجهاز العصبي اللاإرادي وأنظمة الغدد الصماء

على التحكم في استجابات القلب والأوعية الدموية و الاستقلاب والتكيفات. لقد أوضحت الأدلة الحديثة بشكل متزايد أن هناك تواصلًا كبيرًا بين الوسطاء الكيميائيين لنظام الغدد الصماء (الهرمونات) والخلايا والوسطاء الكيميائيين في الجهاز المناعي. في حين أن هذه الأنظمة ضرورية لتنسيق التكيفات الإيجابية للتدريب على التمرين ، هناك أيضًا دليل على أن هذه الأنظمة نفسها يمكن أن تعكس الحالة المرضية للإفراط في التدريب.

2- قياس الجهد البدني :

تلعب المقاييس والاختبارات دوراً أساسياً وهاماً في مجال التربية البدنية والرياضية وذلك باهتمامها بالسلوك الحركي للفرد الرياضي أثناء الأداء البدني، لذا نجد أن رصد هذا السلوك وتقويمه يمكن أن يتناول الفرد الرياضي من النواحي الجسمية والفسيولوجية والصحية والحركية والعقلية والانفعالية وغيرها من منظور أن الإنسان وحدة واحدة متكاملة، وهي تركز على أسس ونظريات علمية لذلك نجد أن البحوث العلمية النظرية والعملية تؤسس على القياس والاختبار في مجال التربية البدنية والرياضة

2-1:تعريف القياس : (Measurement)

هو أسلوب لجمع البيانات والمعلومات بطريقة كمية عن الشيء المقاس ويتم ذلك بتقنية خاصة وأدوات مقننة يرتكز عليها الحكم في عملية التقويم

وبتعريف آخر هو الوسيلة التي يمكن من خلالها التحديد الدقيق للمظاهر كمياً وكذلك الصفات المميزة للشيء المراد قياسه

2-2:تعريف الاختبار : (Test)

يعرّف الاختبار على أنه أداة أو وسيلة تستخدم للقيام بقياس معين، وقد تكون هذه الأداة مكتوبة أو شفهية أو أداة ميكانيكية، أو نوع آخر.

2-3:تعريف التقويم : (Evaluation)

هو تقدير قيمة الشيء المقاس ويتجاوز التقويم القياسات المجردة البحتة حيث يبنى على المعلومات المتجمعة من عملية القياس والاختبار لإصدار الأحكام الموضوعية.

وبتعريف آخر هو عملية ديناميكية لصناعة قرار والتي تعط حكما تقييمياً عن جودة ما تم قياسه، مثل علامة اختبار أو أداء بدني.

2-4:أهداف القياس والاختبار والتقويم:

هناك ستة أهداف عامة وهي:

1- **التصنيف Placement**: الاختبار والتقويم المبدئي يسمح للممتحن من تصنيف الأفراد حسب القابلية والاستعداد، وبالتالي تسهيل عملية التدريس والتدريب بتجميع الأفراد في مجموعات تبعاً لقدراتهم.

2- **التشخيص Diagnosis**: غالباً ما تستخدم تقويم نتائج الاختبار لتحديد نقاط القوة أو الضعف لدى الطلاب، والمرضى والرياضيين والمشاركين في برامج اللياقة.

3- **التنبؤ Perdiction**: من خلال القياس والتقويم يمكن التنبؤ بمدى نجاح الفرد أو تفوقه في ممارسة أحدى الرياضات مثلاً.

4- **التحفيز Motivation**: تحفيز الفرد على إحراز تقدم من خلال معرفته بنتيجته أو بأدائه.

5- **الإنجاز Achievement**: ينبغي في أي برنامج تدريسي أو تدريبي ترسيخ مجموعة من الأهداف التي يمكن بها تقويم مستويات إنجاز المشاركين.

6- **تقويم البرامج Program Evaluation**: تقويم البرامج التعليمية أو التدريبية.

2-5:أهداف التقويم الفسيولوجي:

تسعى الاختبارات الفسيولوجية إلى تحقيق الأهداف التالية:

1- تعّرف الرياضي على نقاط القوة والضعف لديه، وتوضح مدى إمكانياته الفسيولوجية مع مقارنتاه بالمعايير العامة.

2- توفّر معلومات أولية تساعد على وصف التدريب المناسب، وتجعل من الممكن معرفة التحسن أو التغيير الناتج من التدريب فيما بعد.

3- تعتبر الاختبارات في حد ذاتها وسيلة تعليمية تساعد الرياضي على فهم أفضل لحالته الوظيفية وما يحدث داخل جسمه من جرّا التدريب البدني مما يجعله أكثر حرصاً واهتماماً بهذا التدريب.

4- تعتبر الاختبارات في حد ذاتها مجرد أداء تستخدم لمعرفة تفاصيل أكثر عن حالة الراضي أو المفحوص وهي بذلك مكملة للمعلومات المتوافرة عن اللاعب من خلال أدائه في الميدان الرياضي.

6-2:وحدات قياس الجهد البدني

1_الشغل :

وحدة الشغل هي الجول (j) و يعرف الشغل أنه تطبيق قوة 1 نيوتن لتحريك جسم مسافة 1 متر في اتجاه القوة ، و عليه فان وحدة الشغل مشتقة من وحدتي القوة (F) و المسافة (D) و لهذا يمكن تمييز وحدة الشغل ب kg.m و n.m و لكن لفهم أكثر لمصطلح الشغل يجب التمييز بين عنصرين أساسيين هما:

2-القوة:

و هي عبارة عن فعل يؤدي إلى تغيير في وضع جسم ما من حالة السكون إلى الحركة ،و تعتبر وحدة (n) هي الوحدة الأساسية لقياس القوة في النظام العالمي ووفقا لتعريف نيوتن للقوة يتبين أنها القوة التي تحرك واحد كيلوغرام من الكتلة بسرعة 1 متر في الثانية مربع

$1\ n=1kg.m.s^{-1}$

3- الكتلة:

هي كمية المادة ،و الوحدة الأساسية لقياس الكتلة هو الكيلوغرام kg و هي تكافئ الثقل وفق الجاذبية الأرضية حيث:

الثقل= الكتلة*الجاذبية الأرضية

و لكن في مجال فسيولوجيا الجهد البدني يمكن استخدام الكيلوغرام كوحدة لقياس القوة (F) و ذلك وفقا للحالتين التاليتين:

1- عند قياس القوة اللازمة لرفع وزن الجسم مثلا عند العمل على صندوق الخطوة أو السير المتحرك أو خلال رفع الأثقال في هذه الحالة الوحدة المعبر عنها للقوة هي الكيلوغرام

2- عند قياس القوة اللازمة لتدوير بدال الدراجة الأرجومترية (bicyclette argométrique) .

و في مجال فسيولوجيا الجهد البدني يعبر الشغل عن تطبيق قوة على جسم ما لمسافة معينة و معادلته:

الشغل = القوة في المسافة

و حسب الكلية الأمريكية للطب الرياضي (ACSM) يمكن تصنيف الشغل إلى شغل ايجابي عندما تستخدم القوة للعمل ضد الجاذبية الأرضية كما هو الحال خلال أداء جهد بدني على الدراجة الأرجومترية أو السير المتحرك أي أن التقلص العضلي يكون مركزيا ،أما الشغل السلبي و هو الشغل الذي نجده خلال العمل على صندوق الخطوة حيث يغلب عليه التقلص العضلي اللامركزي ، و حسب ناجل 1986NAGEL فان الشغل السلبي يساوي ثلث الشغل الايجابي.

4_ القدرة: PUISSANCE

و هو مصطلح يشير إلى المعدل الذي يتم به الشغل بالنسبة للزمن (**T**)،مثلا:

إذا تم رفع **kg1** لمسافة **m 1** في زمن قدره s1 فان : **p=1kg.m/s**

و يعتبر الواط watts الوحدة الأساسية لقياس القدرة و يرمز لها بالرمز **w**

$$1w = 1j.s^{-1} = 60j.min^{-1} = 0.0143\ kcal.min^{-1}$$

5_الطاقة:energie

و هي مصطلح تعبر عن كمية الطاقة التي يستهلكها الرياضي أثناء أي جهد بدني ،و تعتبر وحدة الكيلوكالوري (kilocalorie) هي وحدة القياس الأكثر انتشارا في العالم و يعبر عنها ب (kcal) و في مجالنا يعبر عنها بمعدل استهلاك الأكسجين باعتباره مكافئ طاقوي على النحو التالي($L.m^{-1}$) إذا كان مطلق و ب ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) في شكل وحدات قياس نسبية،أو المبتس (mets) و هو مصطلح يشير إلى معدل الطاقة التي يستهلها الفرد أثناء الراحة:

$$1met = 3,5\ ml_{o2}.kg^{-1}.min^{-1}$$

$$1L\ 'o2.min^{-1} = 5\ kcal.min^{-1} = 21.1\ kj.min^{-1} = 350w$$

$$1kcal = 4.185j = 427kg.m$$

2-7: قياس و تقنين الجهد البدني:

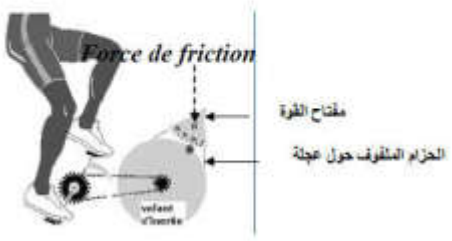
أولا:الدراجة الأرجومترية: bicyclette ergométrique

و يمكن تصنيفها وفقا لأغراض الاستخدام إلى الدراجة الأرجومترية المنزلية تستعمل لأجل اكتساب الصحة و اللياقة،و أخرى للتدريب حيث نجدها تمتاز بالمتانة و القوة و هي مصممة للتدريب العالي الشدة حيث يمكن من خلالها حساب

القدرة الميكانيكية عن طريق تحديد القوة بواسطة مفتاح الكبح على البدال (« pédal) أي عدد اللفات في الدقيقة وق المعادلة:

القدرة الميكانيكية= القوة * سرعة التبديل

Puissance mécanique= force(kg) × vitesse de pédalage (tours/min)



تمرين رقم 1:

قام أحد الرياضيين بالقيام بجهد بدني على دراجة موناك بمعدل تبديل 60 دورة في الدقيقة ضد قوة كبح 2 kg

المطلوب :

1- إيجاد القدرة الميكانيكية ب $kg.m.s^{-1}$, $w , j.s^{-1}$

2- قيمة الاستهلاك الأكسجيني لهذا الرياضي بـ $l.min^{-1}$

الحل:

1- P=f(kg)× V(tours/min)

Sachant que

1 tour de pédalage sur bicyclette ergométrique= distance de 6m

P=2kg×60 tous/min

P=2kg×60 tours × 6m/s

$P=720kg.m.min^{-1}$

$P=12kg.m.s^{-1}$

$1watts=1newton.m.s^{-1}=1j.s^{-1}$

$P=120n.m.s^{-1}= 120w=120j.s^{-1}$

2- On a:

$1w = 1j.s^{-1} = 60j.m^{-1}$ $0.0143\ kcal.min^{-1}$

$120w=120j.s^{-1} = 7200j.min^{-1}=1.716\ kcal.min^{-1}$

Sachant que l'équivalent énergétique du litre d'oxygène est égal a 5 $kcal.min^{-1}$

Donc

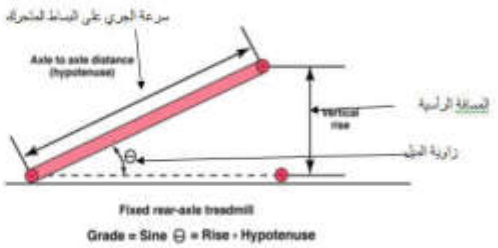
Volume d'oxygène consommé (vo2) = $1.716kcal.min^{-1}/ 5\ kcal.min^{-1}$

ثانيا: السير المتحرك: tapis roulant

يتم تقنين الجهد البدني على السير المتحرك وفق سرعة الجري و كذلك درجة ميل الجهاز يعبر عنها بوحدات للارتفاع منسوبة إلى 100 وحدة عمودية حيث يعبر عنها بنسب مئوية حيث

الجدول رقم (1) يتضمن عدد من زوايا و مقابلاتها من الدرجة المئوية نقلا عن fox و 1981 mathews

درجة الزاوية	الدرجة المئوية%	جيب الزاوية	درجة الزاوية	الدرجة المئوية%	جيب الزاوية
1	1.75	0.0175	6	10.15	0.1045
2	3.49	0.0349	7	12.28	0.1219
3	5.24	0.0524	8	14.05	0.1392
4	6.99	0.0698	9	15.48	0.1594
5	8.75	0.0872	10	17.63	0.1736



و لحساب القدرة الميكانيكية على السير المتحرك نستخدم المعادلة التي وضعها فوكس و ماثيوس 1981 و هي كالتالي

P= masse corporelle(kg) × élévation verticale

P= mg(kg)×h

حيث : mg: كتلة الفرد h: المسافة الراسية

و لكن المسافة الرأسية بتطبيق قوانين المثلثات هي عبارة عن :

H= v× sin ø

V: هي سرعة الجري على السير المتحرك ، sin ø: هي جيب الزاوية ø

تمرين:

قام أحد المختبرين بالجري على السير المتحرك لمدة 30 دقيقة بمعدل سرعة يساوي 10 كلم /سا ،بزاوية ميل 3 درجة (5,24 %) ،المطلوب حساب مقدار القدرة الميكانيكية التي بذلها هذا المختبر إذا كان وزنه يساوي 75 كيلوغرام بـ:

$J.S^{-1}$, w, $kg.m.s^{-1}$

الحل :

P= masse corporelle(kg) × élévation verticale

P=mg(kg) × h

P= mg(kg) × v(m.min^{-1}) × sin ø

On a v= 10 $km.h^{-1}$ = 166.66$(m.min^{-1})$

Donc : p = 70 (kg) × 166.66$(m.min^{-1})$ × 0.0524

P= 611.33 kg.m.min-1

P= 10 $kg.m.s^{-1}$ = 100$n.m.s^{-1}$= 100 w = 100 $j.s^{-1}$

ثالثا: صندوق الخطوة : benche step

في مثل معدل المحدد ف هذه الاختبارات يتم استخدام مقاعد مختلفة الارتفاعات بتم الخطو عليها لانتاج الحمل البدني حيث على المختبر رفع وزن جسمه للصعود فوق مقعد لمقدار ارتفاع محدد ثم النزول و يتكرر هذا الأداء وفقا للمعدل المحدد في الدقيقة لكل اختبار .

يتم حساب القدرة الميكانيكية في اختبارات الخطوة وفق المعادلة التالية:

P= masse corporelle (kg) × hauteur de benche (m) × pas.min^{-1}

تمرين:

نفترض أن احد المختبرين قام بجهد بدني على صندوق الخطوة بمعدل 10 دورة في الدقيقة، ارتفاع الصندوق 30 سم و كان وزن المختبر 65 كغ .

المطلوب ايجاد القدرة الميكانيكية لهذا المختبر ب $j.s^{-1}$, w,$kg.m.s^{-1}$

الحل:

P= masse corporelle (kg) × hauteur de benche (m) × pas.min^{-1}

مع العلم أن كل دورة تعني أربع خطوات على الشكل التالي:فوق واحد ،فوق اثنين ،تحت واحد ،تحت اثنين و عليه:

1 tour= 4× pas

Donc : 10 $tours.min^{-1}$ = 40 $pas.min^{-1}$

P= 65 (kg) × 0.030(m).pas-1× 40 $(pas.min^{-1})$

P= 78 $kg.m.min^{-1}$ = 780 $n.m.s^{-1}$ = 780 w = 780 $j.s^{-1}$

3-1:مصادر إمداد العضلات بالطاقة:

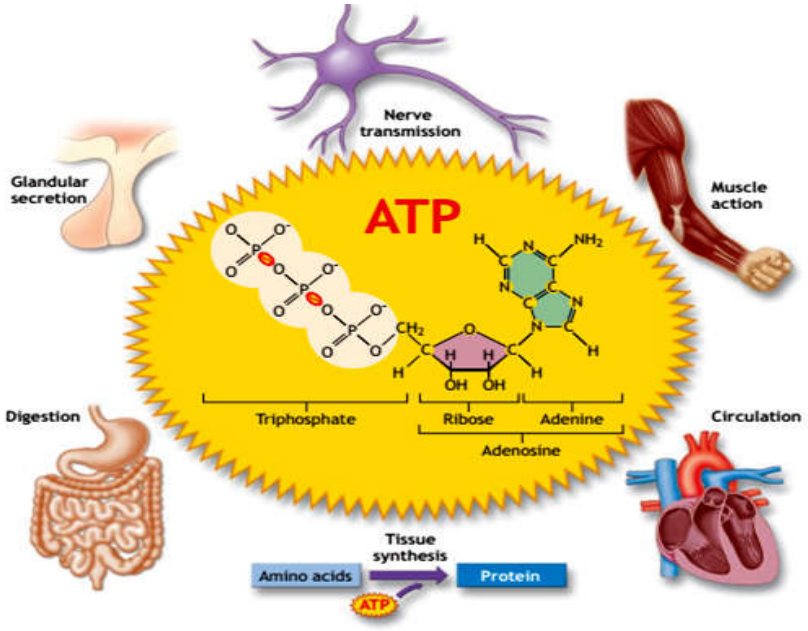
يتفق كل من محمد علي 1999م، حمدي عاصم 1996م على أن أهم المصادر لإمداد العضلات بالطاقة اللازمة للانقباضات العضلية هي:

- ثلاثي فوسفات أدينوسين (ATP) Adénosine Triphosphate
- فوسفات الكرياتين(PC) Phosphate Creatine
- الجليكوجين Glycogen
- الدهون Fats

3-1-1:ثلاثي فوسفات الأدينوزين(ATP) Adénosine Triphosphate:

كل العمليات البيولوجية في جسم الإنسان تحتاج إلى طاقة،كما هو الحال في العمليات الهضمية على مستوى الجهاز الهضمي على سبيل المثال،و النقل العصبي،كذلك صناعة بناء البروتين و إفراز الهرموني،كذلك هو الحال بالنسبة للتقلص العضلي.

إن الطاقة اللازمة لكل هذه العمليات ناتجة عن التحولات التي تحدث لمركب مخزن في الجسم يدعى الأدينوسين ثلاث الفوسفات (ATP) .

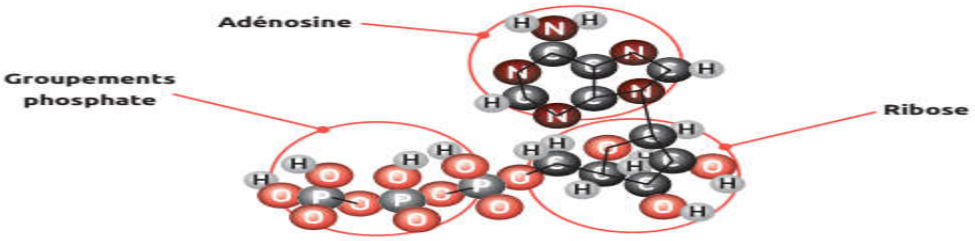


شكل رقم (1) تركيب ال ATP و دوره في العمل البيولوجي في الجسم

هو عبارة عن مركب كيميائي غني جدا بالطاقة و هو أحد مصادر الطاقة المباشرة في الخلايا الحية عامة و المصدر المباشر لإنتاج الطاقة اللازمة للنشاط العضلي خاصة و يخزن هذا المكون في معظم خلايا الجسم و بشكل خاص في خلايا العضلات الإرادية

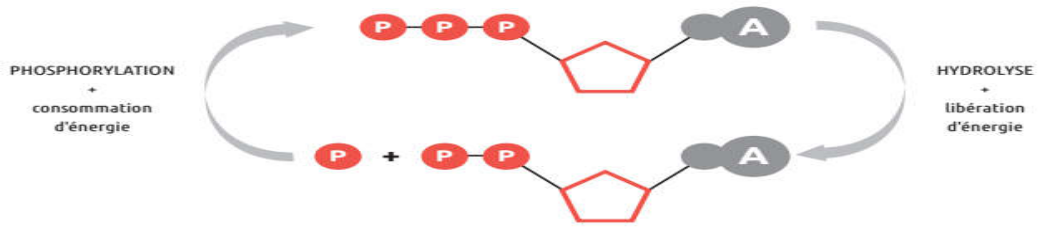
(الهيكلية) من مواد الطعام الذي نأكله ،و يتكون ثلاثي فوسفات الأدينوزين من نواه كبيرة تسمى الأدينوزين و ثلاث مكونات بسيطة تسمى مجموعة الفوسفات (ط. الرشيد 1997، 38-41).

و الأدينوزين هو عبارة عن جزيء أدنين Adenine و جزيء ريبوز Ribose و يتحد الأدينوزين هذا مع ثلاث مجموعات من الفوسفات Phosphates ، بحيث تتكون كل مجموعة من هذه المجموعات الثلاث من ذرات من الفوسفات و الأوكسجين (PO3) وفقا لما هو موضح بالمعادلة التالية:



الشكل رقم (2) يوضح تركيب الأدينوسين ثلاثي الفوسفات

و يتم الحصول على الطاقة من ال ATP عندما تتكسر رابطة كيميائية واحدة (~) بين مجموعات الفوسفات الثلاث في مركب ال ATP حيث يتحول ال ATP الى ADP و فوسفات و طاقة تبعا للمعادلة التالية:



الشكل رقم (3) يوضح العملية الأيضية المركزية للخلية العضلية

و تكمن القيمة الحقيقية لمخزون ATP في العضلة في :

-إنتاج طاقة كبيرة و سريعة.

- لا يحتاج توليد هذه الطاقة الى اكسجين الهواء الجوي.

- يعتبر من مصادر الطاقة الأساسية في الأنشطة الرياضية التي يستغرق أدائها ثوان قليلة. (م. رضوان 1998، 42)

3-1- 2: فوسفات الكرياتين (PC) phosphate creatine:

هو مركب كيميائي غني بالطاقة ،و هو يوجد في الخلايا العضلية،و هو يشبه ال ATP في أن الطاقة المختزنة في كليهما توجد في الروابط الكيميائية الخاصة بهما و لذلك عندما تتحلل الروابط الكيميائية في فوسفات الكرياتين يحدث الآتي:

فوسفات الكرياتين ←(تحلل كيميائي)— الكرياتين ~ الفوسفات ~ الطاقة

PC ←(تحلل كيميائي)— C ~ Pi ~ Energy

و تستخدم الطاقة المنبعثة من تحلل الروابط الكيميائية لمركب فوسفات الكرياتين في اعادة تصنيع مركب ال ATP في العضلات وفقا للآتي:

الفوسفات + ثنائي فوسفات الأدينوزين ←(إعادة تصنيع)— ثلاثي فوسفات الأدينوسين

Pi + ADP ← ATP من جديد في العضلة

3-1-3: الجليكوجين Glycogen :

الجليكوجين هو عبارة عن جزيء كبير يحتوي على عدد كبير من جزيئات الجلوكوز المتحدة معا،و يتم تكوينه عندما يصل الجلوكوز إلى العضلات و الكبد فيتحول إلى جليكوجين يتم تخزينه لحين استخدامه،و يحتوي مخزون الجسم من الجليكوجين على حوالي 375-450 جرام توجد في العضلات و الكبد و يتم تحويل جليكوجين الكبد إلى سكر جلوكوز لاستخدامه في الطاقة عند نقص جليكوجين العضلات،و عندما يقل مخزون الجليكوجين يقوم الجسم بتكوين الجلوكوز من مصدر غذائي آخر و هو البروتين. (أ. الفتاح 1999، 119) حيث تبلغ نسبة الجليكوجين المخزن في الكبد ما يقرب 34% و ما يقرب من 66% تخزن في العضلات

4-1-3:الدهون Fats:

تعتبر الدهون من أهم مصادر الطاقة الحيوية لجسم الإنسان و ذلك لإمداد العضلات الإرادية باحتياجاتها من الطاقة خلال التدريبات البدنية التي تستمر لفترة طويلة،و يحتوي الجرام الواحد على 9 سعرات حرارية كبيرة أو أكثر ،بينما يحتوي جرام الكربوهيدرات على 4 سعرات حرارية لكل جرام.

و تتركب الدهون كيميائيا من عناصر الكربون Carbon و الهيدروجين Hydrogène و الأوكسجين Oxygène و هي العناصر التي تتركب منها الكربوهيدرات،و لذا يمكن للدهون أن تتحول إلى كربوهيدرات، كما يمكن للكربوهيدرات أن تتحول إلى دهون،و ذلك من خلال عملية التمثيل الغذائي لتشابه كل منهما.كما أن الدهون تختلف عن الكربوهيدرات

و البروتينات لكونها تعد أكثر منها احتواءا على عنصر الكربون،مما يجعلها أعلى قيمة حرارية منها (الحماحمي 2000، 83)، و يذكر محمد الحماحمي 2000م أن الاحتياجات اليومية من الدهون ترتبط بالعديد من المتغيرات كوزن الجسم،العمر،النوع،نوع العمل أو النشاط،الحالة الصحية،العادات الغذائية،الظروف المناخية و مقدار ما يحصل عليه الفرد من الكربوهيدرات في غذائه و يوصى بأن لا تزيد الدهون في المتوسط عن ما يقرب من 30% من الاحتياجات اليومية من الطاقة الكلية و على أن يكون 10% من تلك الدهون المشبعة،بينما يكون 20% الأخرى مصدرها الدهون غير المشبعة. (الحماحمي 2000، 93-94)

3-2- أنظمة الطاقة:

3-2-1:النظام الفوسفاتي (ATP-PC):

و هو يسمى كذلك نظام لاهوائي لا لكتيكي حيث تبلغ مدته من 0 إلى 7 ثواني

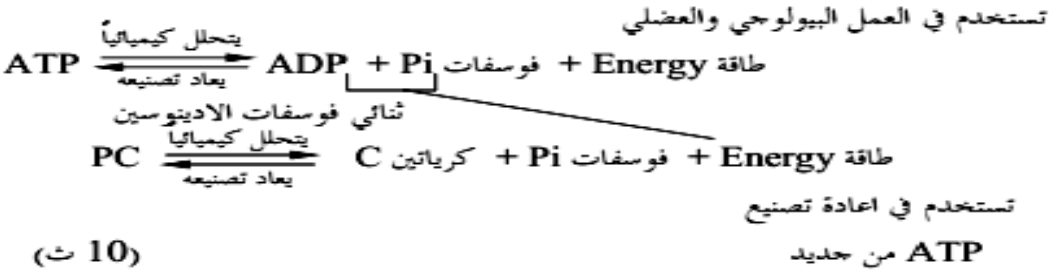
و هو جهاز الطاقة الأولى أو المفاجئ الانطلاق حيث يعد النظام الأساسي الذي تعتمد عليه الأنشطة الرياضية و التي تتطلب عنصر السرعة و القوة المميزة بالسرعة و يتميز هذا النظام بسرعة إنتاج الطاقة و هو يعد أسرع نظام لإنتاج الطاقة عامة،لأنه يعتمد على إعادة بناء (ATP) عن طريق مادة كيميائية أخرى مخزونة بالعضلة تسمى الفوسفوكرياتين (PC). حيث يعتبر من المركبات الكيميائية الغنية بالطاقة و هو يوجد في الخلايا العضلية مثله في ذلك مثل (ATP) و عند انشطاره تتحرر كمية كبيرة من الطاقة تعمل على استعادة بناء (ATP) المصدر المباشر للطاقة حيث يتم استعادة مول (ATP) مقابل انشطار مول PC.و من المعروف أن الكمية الكلية لمخزون ATPو PC في العضلة قليلة جدا و هي تقدر بحوالي 0,3 مول لدى السيدات و 0,6 مول لدى الرجال و هذا بالتالي يحد من إنتاجية الطاقة بواسطة هذا النظام ،و تتم عملية انشطار مركب كرياتين الفوسفات(PC) بمساعدة إنزيم كرياتين فوسفوكيناز (CPK)،كما يشير ريسان خريبط و علي تركي أن إنزيم CPK يقوم بالعمل كعامل مساعد في التفاعل الخاص بنقل مجموعة فوسفات عالية الطاقة PC إلى ADP و هو تفاعل عكس، و لذلك فان PC يمكن أن يعاد بناؤه عند الحاجة إلى ATP أثناء فترة استعادة الاستشفاء التي تعقب فترة الانقباض العضلي،و يرى brikci (2000)أنه النظام المباشر الأول الممكن الذي يكمن في تحلل الفوسفوكرياتين المخزن في العضلات ليحرر طاقة

حيث تلخص العملية وفقا للمعادلات الكيميائية التالية:

$$PC \xrightarrow{\text{تحلل الروابط الكيميائية}} C - Pi - Energy$$

$$\text{فوسفات الكرياتين} \xleftarrow{\text{تحلل كيميائي}} \text{الكرياتين} - \text{الفوسفات} - \text{الطاقة}$$

و تستخدم الطاقة المتبقية من تحلل الروابط الكيميائية لمركب فوسفات الكرياتين في إعادة تصنيع مركب الATP في العضلات وفقا للآتي:



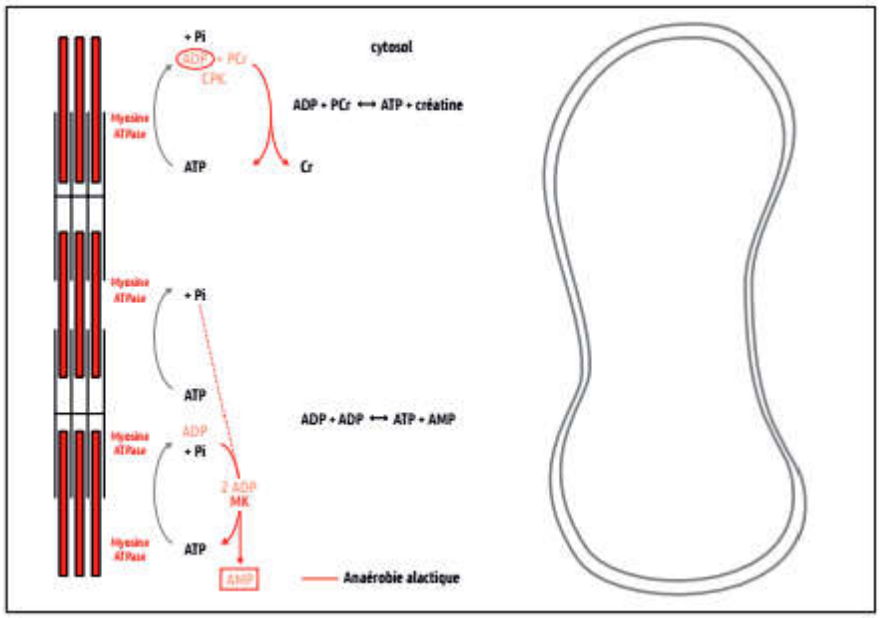
(10 ث)

و يمكن تلخيص مميزات هذا النظام فيما يلي:

1- لا يعتمد على سلسلة طويلة من التفاعلات الكيميائية.

2- لا يعتمد على انتظار تحويل أكسجين هواء التنفس إلى العضلات العاملة.

3- تختزن العضلات كل من ATPوPC بطريقة مباشرة



الشكل رقم (4) يوضح العمليات الأيضية للنظام اللاهوائي اللالاكتيكي

3-2-2: النظام اللاكتيكي:

و يسمى هذا النظام بالجلكزة اللاهوائية نسبة إلى انشطار السكر في غياب الأوكسجين و هو النظام المسؤول عن إنتاج الطاقة بالنسبة للعمل العضلي الذي تزيد مدته عن (30) ثانية إلى الدقيقة أو الدقيقتين،و ينتج عن هذه العملية حامض اللاكتيك الذي يؤثر على قدرة العضلة على الاستمرار في الأداء بنفس الشدة و يحدث التعب و يشير أبو العلا أحمد عبد الفتاح و أحمد نصر الدين رضوان(1993م) أن مصدر الطاقة هنا يكون مصدرا غذائيا يأتي من التمثيل الغذائي للكربوهيدرات التي تتحول إلى صورة

بسيطة في شكل سكر جلوكوز يمكن استخدامه مباشرة لإنتاج الطاقة أو يخزن في الكبد و العضلات على هيئة جليكوجين لاستخدامه فيما بعد (السيد 1993، 164) ،و يذكر طلحة حسام الدين و آخرون (1998م) أن الجليكوجين ينشطر في غياب الأكسجين و يعطي حامض اللاكتيك و طاقة كما في المعادلة التالية:

جليكوجين ⟵ حامض اللاكتيك + طاقة

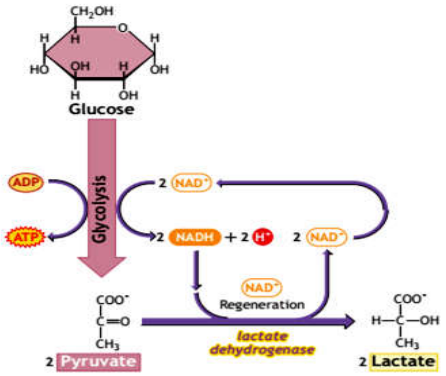
Glycogen ⟶ Lactic Acid +Energy

و الطاقة الناتجة عن ذلك تستخدم في إعادة بناء مركب ثلاثي فوسفات الأدينوسين كما في المعادلة التالية:

3(ثلاثي فوسفات الأدينوسين) ⟵ 3(فوسفات)+3(ثنائي فوسفات الأدينوزين) + طاقة

Energy+3Pi+3ADP ⟶ 3 ATP

و يشير وائل محمد رمضان 1998م إلى أنه يذكر كلاين و آخرون .. Clayhan,et al (1989م) أن أفضل طريقة لتحسين هذا النظام هي التي تستخدم الأنشطة التي تستمر لفترة أداء تتراوح ما بين 45 حتى 60 ثانية ذات شدة عالية و فترات راحة طويلة يؤدي ذلك إلى زيادة إنتاج حامض اللاكتيك في الدم و كذلك تحسن قدرة الرياضي على تحمل نسبة أعلى من حامض اللاكتيك.

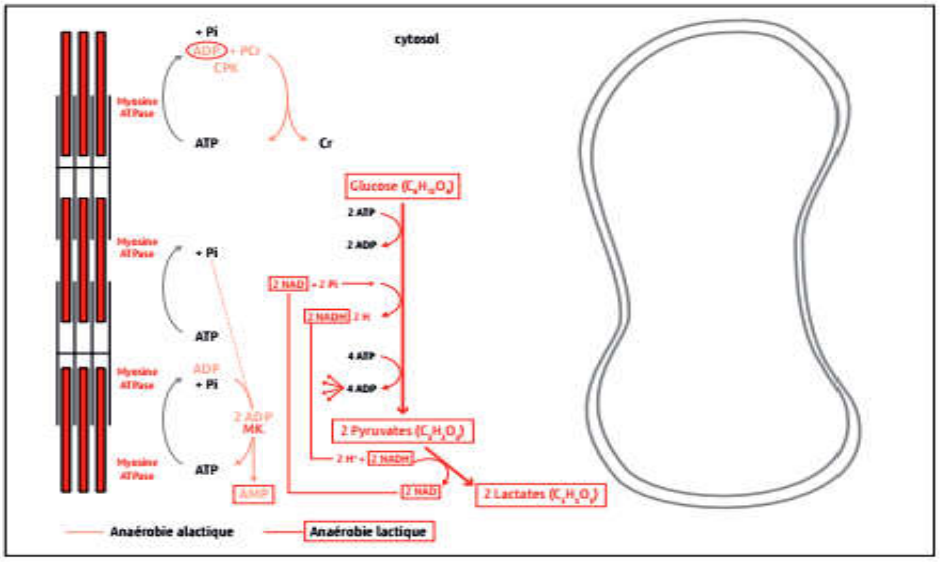


الشكل رقم (5) يوضح الجلكزة اللاهوائية للجلوكوز

و تحدد خصائص هذا النظام فيما يلي:

- لا يحتاج هذا النظام إلى وجود الأوكسجين.
- يعتمد على الكربوهيدرات فقط كمصدر للطاقة (الجلوكوز.الجليكوجين).
- ينتج هذا النظام كمية من الطاقة تكفي لاستعادة مقدار قليل من ثلاثي أدينوزين الفوسفات ATP.

- يتراكم حامض اللاكتيك في العضلات و يكون أحد مسببات التعب العضلي. (السيد 1993، 165)



الشكل رقم (6) يوضح نظام الطاقة اللاهوائي اللاكتيكي

3-2-3: النظام الهوائي:

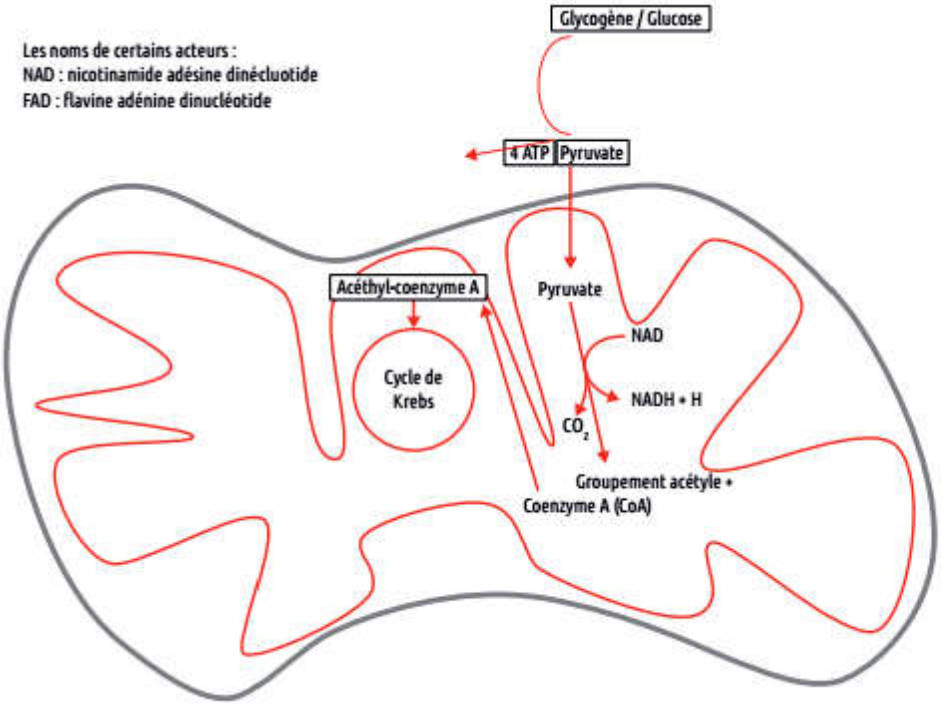
يتميز هذا النظام عن النظامين الآخرين لإنتاج الطاقة (الفوسفاتي-اللاكتيك) بوجود الأكسجين كعامل فعال خلال التفاعلات الكيميائية لإعادة بناءATP ،و مثل هذا يتطلب مئات التفاعلات الكيميائية و مئات من النظم الإنزيمية و التي تزيد في تعقيدها بدرجة كبيرة عن إنتاج الطاقة اللاهوائي في النظامين السابقين،و يتم نظام الأكسجين في داخل الخلية العضلية،و لكن في حيز محدود هو الميتوكوندريا Mitochondria و هي عبارة عن أجسام تحمل المواد الغذائية للخلية و يكثر وجودها في الخلايا العضلية ، و يمكن تقسيم التفاعلات الكيميائية للنظام الهوائي أو نظام الأكسجين الى سلاسل رئيسية هي :

- الجلكزة الهوائية Aerobic glycolysis.
- دائرة كربس The Krebs Cycle.
- نظام النقل الالكتروني The electron transport System.

1-3-2-3:الجلكزة الهوائية Aerobic glycolysis :

و هي أول سلسلة تفاعلات تشارك في تكسير الجليكوجين هوائيا و تحويله إلى ثاني أكسيد الكربون و الماء،و تتم عملية الجلكزة للكربوهيدرات في بدايتها بدون الأكسجين و هي الجلكزة اللاهوائية (الشكل 5) و التي تنتهي بتكوين حامض اللاكتيك و ينتج عن هذه العملية 3 مول ATP،و في حالة توافر الأكسجين يتم عدم استكمال سلسلة التفاعلات الكيميائية و هي الجلكزة الهوائية عندما يتكون حامض البيروفيك Pyruvic Acid و هو التفاعل رقم 11 في سلسلة تفاعلات الجلكزة اللاهوائية و التي تنتهي بالتفاعل رقم 12 و هو حامض اللاكتيك و تتم عملية الجلكزة الهوائية داخل الميتوكوندريا كما يلي:

- في وجود الأكسجين أيضا يتحول حامض اللاكتيك إلى حامض بيروفيك بمساعدة إنزيم لاكتات دي هدروجين.ثم يدخل إلى داخل الميتوكوندري .
- يتحول حامض البيروفيك إلى أستيل كو إنزيم أيه (Acetyl CoA) Acetyl Coenzyme A.
- يدخل Acetyl CoA إلى دورة كربس.
- و بناءا على ما سبق يتضح أن وجود الأكسجين يثبط تجمع حامض اللاكتيك و لكنه لا يعيد بناء ATP.



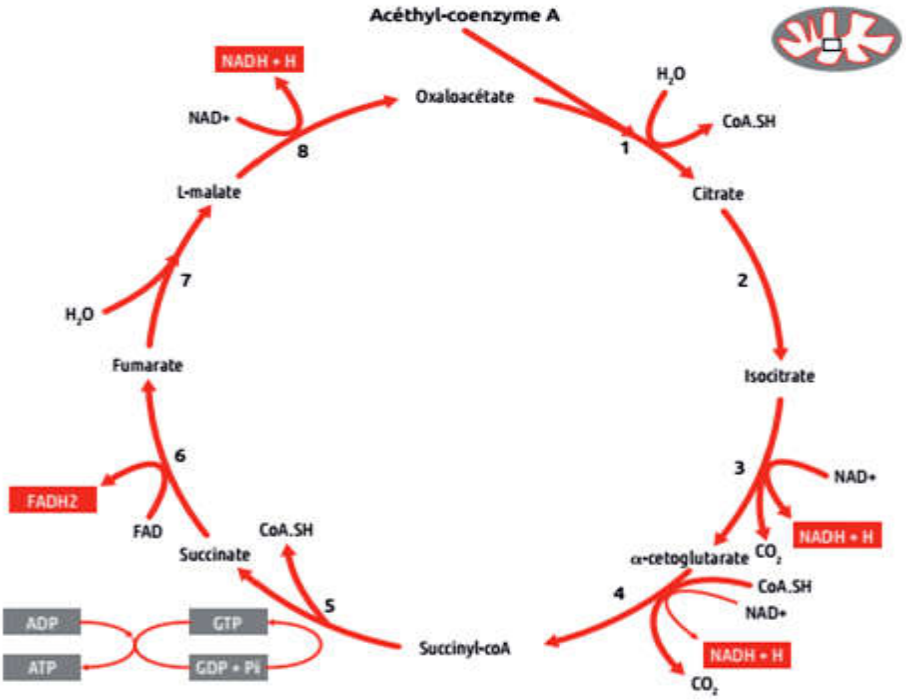
الشكل رقم (7) يوضح مراحل الجلكزة الهوائية

3-2-3-2: دورة كريبس Krebs cycle:

هي سلسلة من التفاعلات الكيميائية التي تتم في نهايتها الأكسدة الكاملة و تسمى باسم العالم Sir Hans Krebs و الذي اكتشفها و حصل على هذا الاكتشاف على جائزة نوبل عام 1953 في الفسيولوجيا،و تسمى أيضا دورة تراي كربوكسيلك أسيد Tricarboxylic Acid كما تسمى أيضا دورة حامض السيتريك Citric Acid Cycle بعد وجود بعض المكونات الكيميائية في هذه الدورة ، و في نهاية دورة كربس يتكون 2 مول من ATP و كربون و هدروجين، و هنا يتحد الكربون مع الأكسجين ليكون ثاني أكسيد الكربون الذي يخرج من الخلية إلى الدم الذي ينقله إلى الجهاز التنفسي ليخرج من الجسم مع هواء الزفير.

نذكر أن الأكسدة تعني فصل الالكترونات من المركب الكيميائي،و تنفصل الالكترونات في شكل ذرات الهدروجين على البروتون الايجابي الشحنة،و هو هنا أيون الهدروجين و الإلكترون سالب الشحنة،و يصبح المركب الكيميائي مؤكسدا عند إزالة ذرة الهدروجين منه،و تتم عملية تكوين ثاني أكسيد الكربون و إزالة الالكترونات في دورة كريبس.

- يحتوي حامض البيروفيك على الكربون و الهدروجين و الأكسجين.
- عندما يتم فصل الهدروجين يتبقى الكربون و الأكسجين.
- يتحد الكربون و الأكسجين لتكوين ثاني أكسيد الكربون



الشكل رقم (8) يوضح تفاعلات حلقة كريبس و نواتجها

3-3-2-3:سلسلة نقل الإلكترون The electron transport System

يستمر تكسير الجليكوجين و يخرج ثاني أكسيد الكربون،و يتكون الماء من أيونات الهدروجين و الالكترونات المنفصلة من دورة كريبس و الأكسجين الذي نتنفسه،و يزيد انفصال الهدروجين بكمية كبيرة خلال عملية الجلكزة لتحويل الجلوكوز إلى بيروفيك و كذلك خلال دورة كريبس،و بطبيعة الحال إذا استمرت هذه الزيادة في تجمع الهدروجين تزداد درجة الحمضية داخل الخلية العضلية،لذلك لابد من التخلص من هذا الهدروجين ،و هنا تقوم سلسلة نقل الإلكترون بسلسلة تفاعلات كيميائية ترتبط بدورة كريبس كما يلي:

- يتحد الهدروجين الناتج عن الجلكزة و دورة كربس مع اثنين من الكو إنزيم هما:

- Nicotinamid adenine dinucleotid (nad).
- Flavin adennine dinucleotid (fad).

و هما يحملان ذرات الهدروجين إلى سلسلة نقل الالكترون،حيث ينفصلان إلى بروتونات و الكترونات.

و في نهاية السلسلة يتحد الهدروجين مع الأكسجين ليكونا الماء ، و هذا يحمي الخلية من الحمضية.

تمر الالكترونات المنفصلة من الهدروجين خلال سلسلة نقل الالكترون لتوفير طاقة تستخدم لإعادة بناء ATP من المركب ADP.

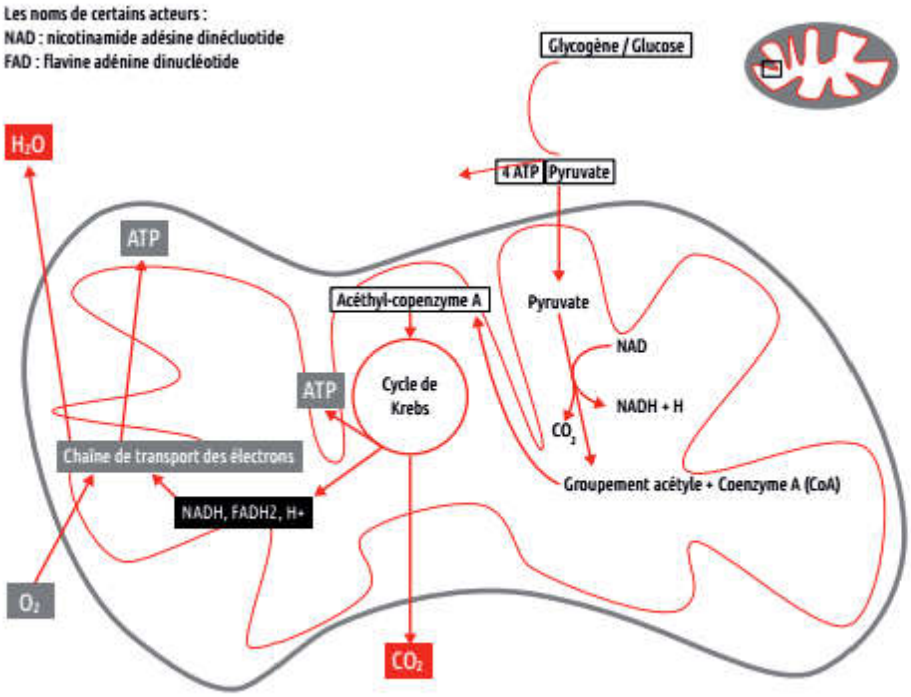


Figure 20 : Vue d'ensemble des réactions intra-mitochondriales (Reiss 2013).

الشكل رقم (9)يوضح النظام الهوائي

إن مركب الجليكوجين ليس هو المصدر الوحيد للطاقة الهوائية لكن هناك مركبات أخرى يمكن أن تنشط بالنظام الهوائي لتتحول إلى ثاني أكسيد الكربون و الماء مع إنتاج الطاقة اللازمة لإعادة بناءATP و هي كل من الدهون و البروتينات.حيث يتم تحويل المواد الدهنية إلى أحماض دهنية تدخل ضمن دائرة كريبس و نظام التحول الالكتروني لإنتاج طاقة.

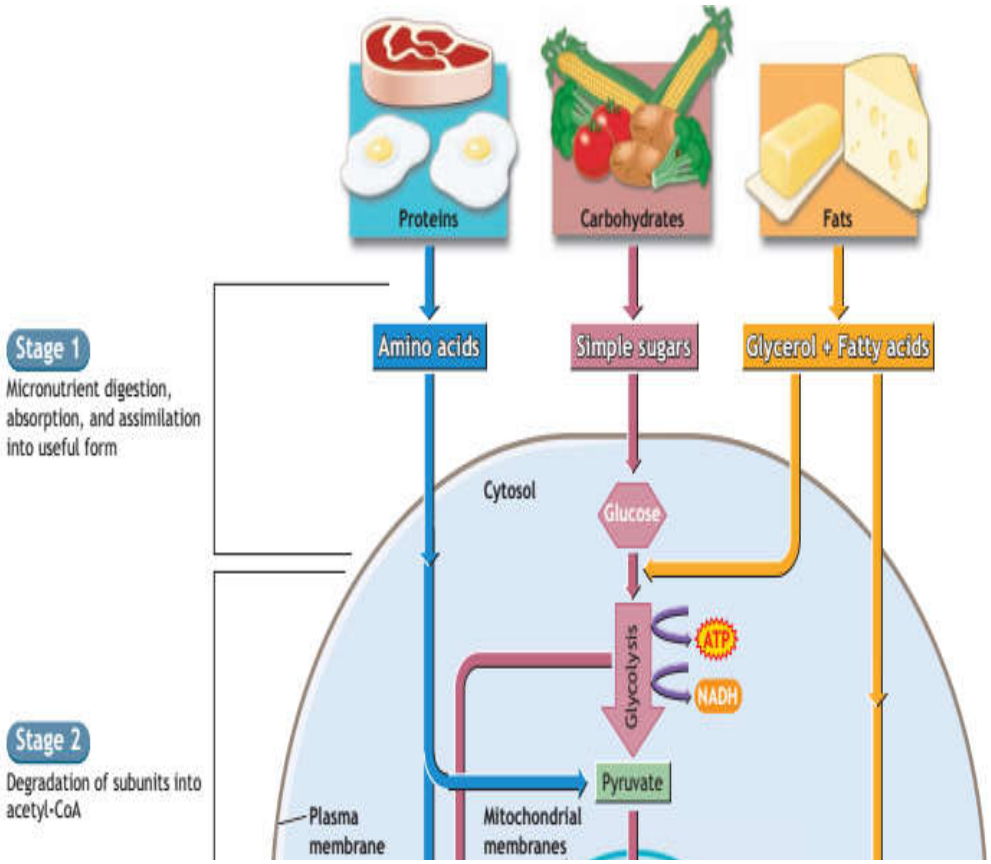
أما أكسدة البروتين فأنه من خلال عملية الهضم يمتص البروتين من الأمعاء الدقيقة و يحول إلى الكبد على شكل أحماض أمينية لبناء الخلايا،كما يستخدم كمصدر للطاقة في ظروف معينة،و قد أصبح الآن من المعروف أن البروتين يساهم في الطاقة بنسبة أكبر مما كان يعتقد تصل إلى أكثر من 10% من الطاقة المطلوبة في التدريب،يقوم الكبد بعد وصول الأحماض الأمينية إليه بالتعامل معها بعدة طرق:

1- تمريرها إلى الدم مباشرة لنقلها إلى مختلف خلايا الجسم.

2- بناء خلايا الكبد ذاته.

3- تحويلها إلى دهون أو تحويلها لإنتاج الطاقة منها.

تعتبر الكربوهيدرات و الدهون هي وقود الطاقة بالجسم،و بالرغم من ذلك فان بعض الأحماض الأمينية تتحول إلى جلوكوز عن طريق عملية **جلكونيوجينيسيس Gluconeogenesis** أو تحويل الأحماض الأمينية إلى أستيل كو-ايه و أحماض دهنية حرة أو بيروفيك لكي يدخل عملية الأكسدة في دورة كريبس سلسلة نقل الإلكترون،هذا بالإضافة إلى إمكانية أكسدة كمية بسيطة من الأحماض الأمينية مباشرة في العضلة.



الشكل رقم (10) يوضح أنواع مصادر الطاقة

و مما سبق يمكن تلخيص خصائص نظم انتاج الطاقة الثلاثة في الجدول التالي:

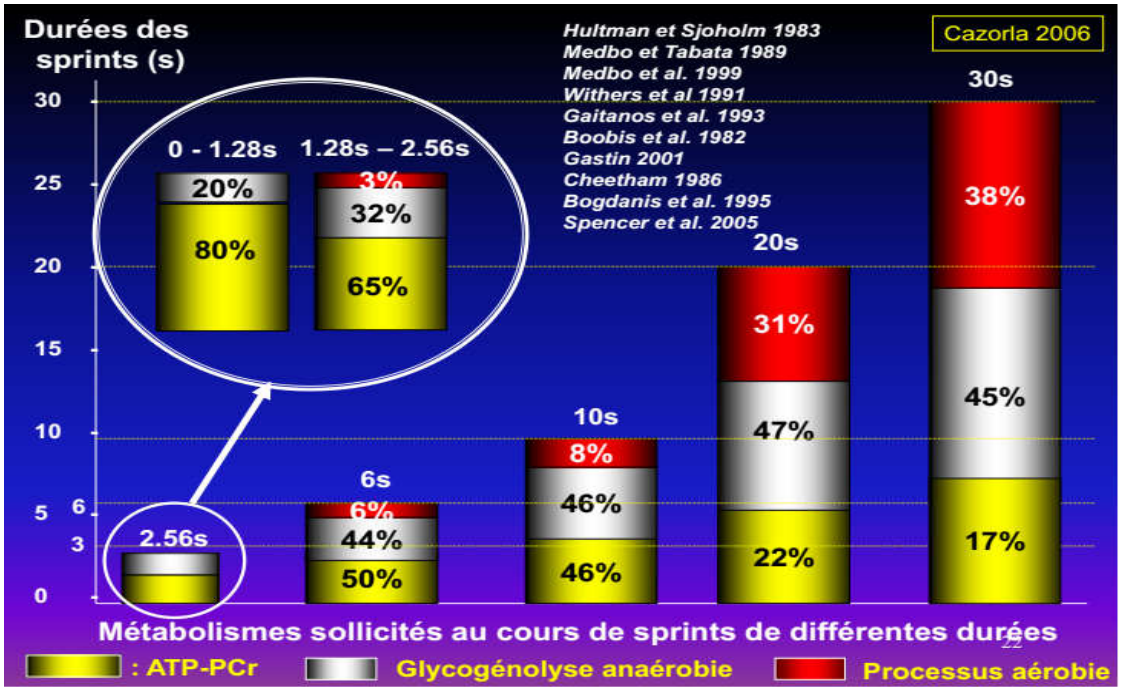
جدول رقم 1 يوضح خصائص نظم انتاج الطاقة

التمثيل الغذائي	لاهوائي لالاكتيكي	لاهوائي لاكتيكي	هوائي
الخاصية	1 ATP	3 ATP(2)	31 ATP(29,5)
مصدر الطاقة	كرياتين فوسفات	جليكوجين/جلوكوز	ليبيد/غليسيد/بروتيد
المدة اللازمة للتدخل	/	5 إلى 10 ثواني	2 إلى 3 دقائق
القدرة	مرتفعة جدا	مرتفعة	حسب VO2MAX
مدة القدرة	3 الى 5 ثواني	10 الى 40 ثانية	3 الى 9 دقائق
زمن السعة	20 الى 30 ثانية	2 د	نظريا غير محددة
مكان التصنيع في الخلية	السيتوبلازم	السيتوبلازم (خارج الميتوكوندري)	داخل الميتوكوندري
النواتج	ADP/AMP/ كرياتين	لاكتات	ثاني أكسيد الكربون و ماء
زمن الراحة بعد استنفاذ أقصى	إعادة بناء ATP,PC (6الى 8 دقائق)	ساعة و نصف	24 إلى 32 ساعة

3-3: تداخل أنظمة الطاقة أثناء الجهد البدني :

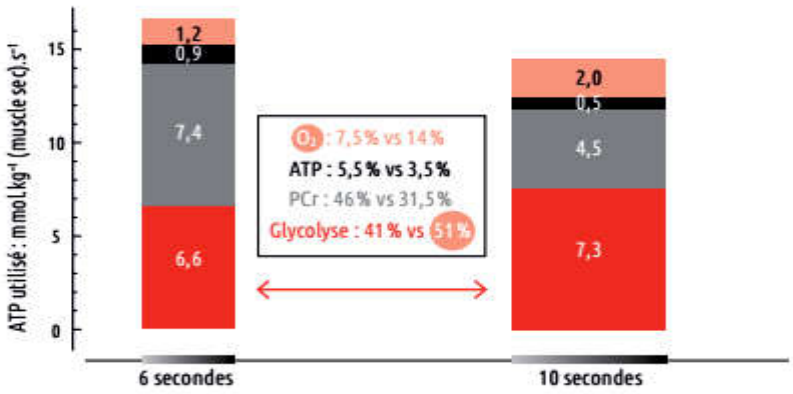
إن أنظمة الطاقة الثلاث لا تعمل بشكل منفصل عن بعضها البعض ،أي يبدأ النظام الثاني بعد انتهاء النظام الأول مثلا و لكنها في حالة عمل دائم في نفس الوقت لكن وفق آلية **النظام الغالب**.

و على سبيل المثال في الشكل رقم 11 و الذي يوضح نسب مشاركة أنظمة الطاقة في سرعات قصوى مختلفة يبين أن نظام الطاقة الهوائي و اللاكتيكي يشاركان بنسب معتبرة أثناء الجهد البدني الأقصى و هذا ما ينفي نظرية عدم مشاركة هذين النظامين في الأنشطة البدنية ذات الشدة القصوى مثل سباق ال 100 متر مثلا.



الشكل رقم (11) يوضح نسبة مساهمة العمليات الأيضية في أداء سرعات مختلفة

و بالمقارنة في الشكل بين جهد أقصى لمدة 6 ثا و و مدة 10 ثا بنفس الجهد ،نلاحظ بوضوح أنه تم استعمال الأكسجين حتى في السبرينت(SPRINT) لمسافة 60 أو 100 متر



الشكل رقم (12) يوضح مقارنة بين سبرينتين مختلفين

و قد تختلف مساهمة نظم الطاقة في كل نشاط حسب طبيعة الجهد المطبق أثناءه حيث يغلب النظام اللاهوائي اللالاكتيكي في الأنشطة البدنية ذات الشدة القصوى و الحجم خفيف و العكس بالنسبة للأنشطة ذات الشدة المنخفضة و الحجم الكبير و الجدول التالي يوضح ذلك

الجدول رقم (2) يوضح نسبة مساهمة انظمة الطاقة

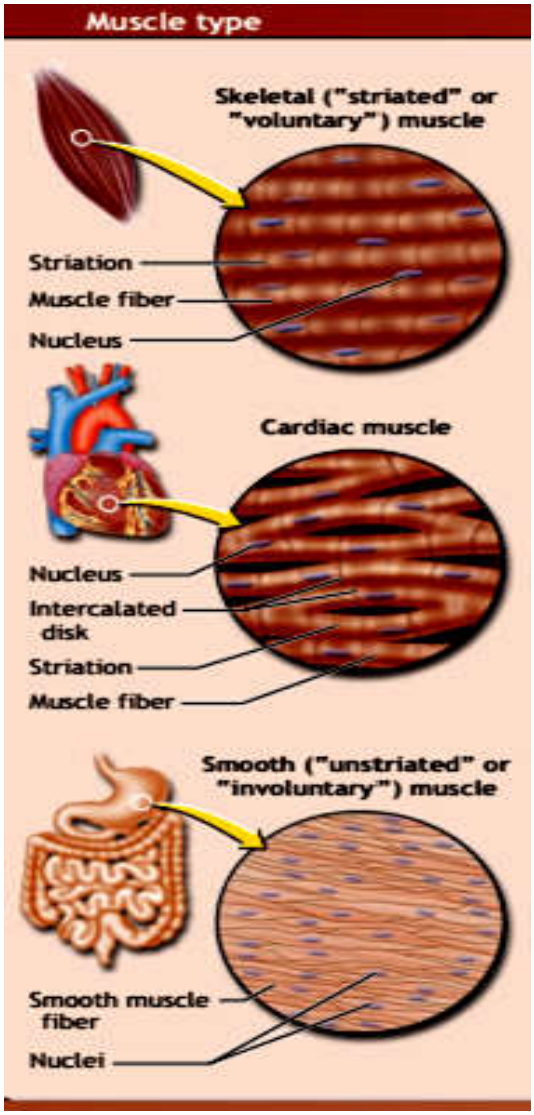
Courses (m)	PCr (%)	Glycogène		Glucose sanguin (glycogène hépatique) (%)	Triglycérides (acides gras) (%)
		Anaérobie (%)	Aérobie (%)		
100 m	48	48	4	-	-
200 m	25	65	10	-	-
400 m	12.5	62.5	25	-	-
800 m	6	50	44	-	-
1500 m	(*)	25	75	-	-
5000 m	(*)	12.5	87.5	-	-
10 000 m	(*)	3	97	-	-
42 195 m	(*)	1	74	5	20
80 000 m	(*)	-	35	5	60
(*) Dans ces épreuves la PCr est utilisée dans les premières secondes. Sa resynthèse pendant la course servira notamment pour l'accélération finale.					

4-الجهاز العضلي:

4-1:أنواع العضلات في الجسم :

4-1-1:العضلات الناعمة Smooth Muscles:

وتدعى العضلات غير الإرادية لأنها لا تقع مباشرة تحت جهاز تحكمنا، وتوجد في جدار معظم الأوعية الدموية مما يجعلها تنقبض أو تنبسط، وبذلك تستطيع التحكم في سريان الدم، كما أنها توجد في جدار معظم الأعضاء الداخلية مما يجعلها تنقبض أو تنبسط حتى تمكن الطعام من السريان في الجهاز الهضمي أو خروج البول أو الولادة،و هي تتميز بأنها:



الشكل رقم (1)يوضح أنواع العضلات في الجسم

- وحيدة النواة
- غير مخططة
- لا إرادية
- خلايا مغزلية الشكل، و عادة ما توجد في خطوط متوازية و تشكل صفائح
- توجد في تجويف جدران الأوعية الدموية و أجهزة الجسم المختلفة
- انقباضاتها بطيئة (بطيئة الخلجة) لكن تحملها عالي (مقامة للتعب)

4-1-2:العضلة القلبية Cardiac Muscles:

توجد فقط في القلب مكونة معظم تركيب القلب وتشارك بعض خصائص العضلات الهيكلية لكنها مثل العضلات الناعمة ليست تحت التحكم الإرادي، وعضلة القلب تتحكم في نفسها بمساعدة الجهاز العصبي وجهاز الغدد الصم و هي تتميز بأنها:

- وحيدة النواة
- مخططة
- لاارادية
- لا تتطلب تحفيز من الجهاز العصبي لكي تنقبض (ذاتية الإيقاع)
- أسطوانية الشكل و أليافها متفرعة و متصلة من خلال أقراص مقحمة مما يسمح بمرور النشاط الكهربائي في جميع أنحاء العضلات
- تسترخي بين الانقباضات لتتجنب التعب.

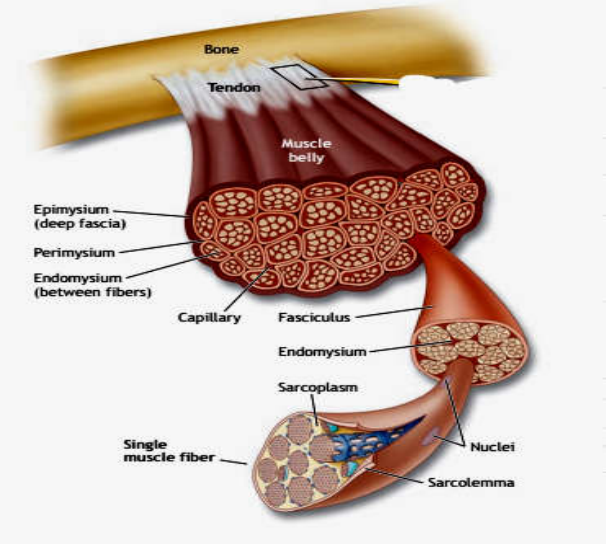
4-1-3:العضلات الهيكلية:Skeletal Muscles

نحن دائما نولي اهتمامنا بالعضلات التي نتحكم فيها وهي العضلات الهيكلية أو الإرادية ولقد سميت بالهيكلية لأن معظمها متصل ومسئول عن حركة الهيكل العظمي، ونحن نعرف الكثير عن هذه العضلات عن طريق أسمائنا مثل العضلة الدالية والعضلة الصدرية والعضلة ذات الرأسين، ويحتوي جسم الإنسان على أكثر من 215زوجا من العضلات الهيكلية. والتمرينات الرياضية تحتاج إلى حركة الجسم التي تتم عن طريق العضلات الهيكلية، وسوف نلقي الضوء على التركيب والوظيفة للعضلات الهيكلية، وبرغم اختلاف التركيب بين العضلات الناعمة والهيكلية والقلبية فإن معظم مبادئ عملهم تكاد تكون واحدة و هي تتميز بأنها:

- متعددة النوى
- مخططة
- إرادية
- أليافها أسطوانية الشكل و طويلة تمتد على طول العضلة
- تستطيع إجراء عدة انقباضات بين فترات الاسترخاء مما يزيد فرص التعب العضلي .

4-1-3-1:تركيب العضلات الهيكلية:

ولو أردت أن تشرح العضلة سوف تبدأ أولا من خلال الطبقة الخارجية المغلفة وتسمى Epimysium وهي تحيط بالعضلة الكاملة، ولو تعمقنا خلال هذه الطبقة سوف نجد الألياف العضلية الصغرى محاطة بنسيج ضام، وهذه الألياف العضلية تسمى ." حزمة"والنسيج الضام حول كل حزمة يسمى Permysium وأخيرا لو قطعنا خلال ال Permysium واستخدم المكبر سوف نرى اللويفيات العضلية التي هي عبارة عن الخلايا العضلية وتغلف كل ليفة عضلية غشاء يسمى Endomysium.



الشكل (2) يوضح بنية العضلات الهيكلية

الليفة العضلية:

تتراوح الخطوط العضلية في الطول من 10- 88ميكروميتر مما يجعلها تقريبا غير مرئية بالعين المجردة، ومعظم الألياف العضلية تتمدد بطول العضلة، وهذا يعني أن الليفة العضلية في الفخذ يمكن أن تمتد أكثر من 35سم.

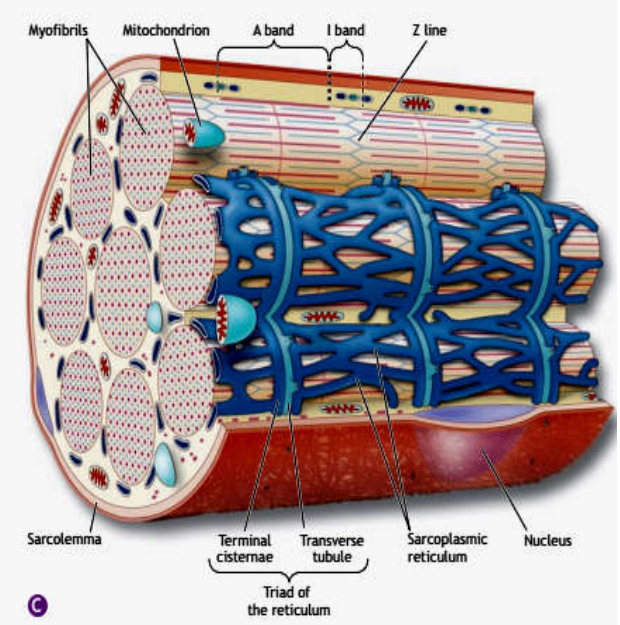
ويختلف عدد الألياف العضلية في كل عضلة عن الأخرى حسب حجم ووظيفة العضلة.

لو نظرنا لكل خلية عضلية على حدة سوف نجد أنها محاطة بغشاء يسمى Sarcolemma وفي نهاية كل خلية عضلية فإن هذا الغشاء يتحد مع وتر العضلة الذي ينتهي في العظام

وتتكون الأوتار من حبال ليفية تنقل القوة المولدة عن طريق باقي العضلات إلى العظام، وبذلك تتم الحركة؛ ولهذا فإن كل خلية عضلية متصلة بالعظام عن طريق الوتر.

السايتوبلازم The Sarcoplasm

من خلال جدار السارکولیما وباستخدام المیکروسکوب الالکتروني فإن النسیج العضلي یحتوي على وحدات أصغر تسمى اللویفات العضلیة، وهي عبارة عن أشکال أسطوانیة تمتد خلال طول النسیج العضلي. وتوجد مادة جیلاتینیة تملأ الفراغ بین اللویفات العضلیة ویطلق علیها السارکوبلازم، وهي عبارة عن الجزء السائل في النسیج العضلي (السیتوبلازم). ویحتوي السارکوبلازم على بروتینات مذابة ومعادن وجلیکوجین ودهون الأعضاء الأساسیة للخلیة، ویختلف عن باقي الستوبلازم للخلایا الأخرى لأنه یحتوي على کمیات کبیرة من الجلیکوجین المخزن والمرکبات المرتبطة بالأکسجین والمیوجلوبین الذي هو مثل الهیموجلوبین.



الشکل رقم (3) یوضح ترکیب اللییف العضلي

الأنابیب المستعرضة The Transverse Tubules

یحتوي السارکوبلازم على شبکة من الأنابیب المستعرضة التي هي عبارة عن امتداد لجدار السارکولیما وهي تمتد في النسیج العضلي.

وتتحد هذه الأنابیب عند مرورها خلال اللویفات العضلیة، وفیها تسمح بمرور الإشارة العصبیة من جدار السارکولیما إلى اللویفات العضلیة بسرعة.

کما أنها تسمح بمرور بعض المواد مثل الأکسجین والجلوکوز والأیونات من خارج الخلیة العضلیة إلى داخلها.

الشبکة السارکوبلازمیة The Sarcoplasmic Reticulum

شبکة طولیة من الأنابیب، وهي موازیة للویفات العضلیة وتلتف من حولهم. ویعمل على تخلیق الکالسیوم الذي هو حیوي لانقباض العضلة.

اللویفات العضلیة:The myofibril

تحتوي کل لیفة (خلیة) عضلة على المئات أو الآلاف من اللویفات العضلیة، وهي عبارة عن أجزاء لها القدرة على الانقباض، وتبدو اللویفات العضلیة على هیئة أشکال طولیة من أجسام أصغر تسمى الساکومیرSarcomeres

التخطیط و الساکومیر Striations And The Sarcomere

تحت المجهر الالکتروني فإن العضلات الهیکلیة لها شکل تخطیطي خاص بها، وبسبب هذه العلامات فإن العضلات الهیکلیة تطلق علیها العضلات المخططة، ویرى هذا التخطیط في عضلة القلب.

وبالنظر الى الشکل التالي وهو یعرض اللویفات العضلیة فإنك یمکن أن ترى التخطیط الموجود بها وهناك منطقتان هما المنطقة الداکنة تعرف بـ(A) ومنطقة فاتحة تعرف (I)وفي منتصف کل منطقة داکنة توجد منطقة فاتحة تعرف ب (H) ولا ترى إلا في حالة استرخاء اللویفات العضلیة وتتعارض المنطقة الفاتحة ببعض الأجزاء الداکنة تعرف بـ(Z)

ویعتبر الساکومیر الوحدة الأساسیة العاملة في اللویفات العضلیة، وکل لویفة عضلیة تحتوي على العدید من الساکومیر التي تمتد بعضها الى بعض في منطقة ،(Z)ویتضمن کل ساکومیر على الآتي حسب الترتیب:

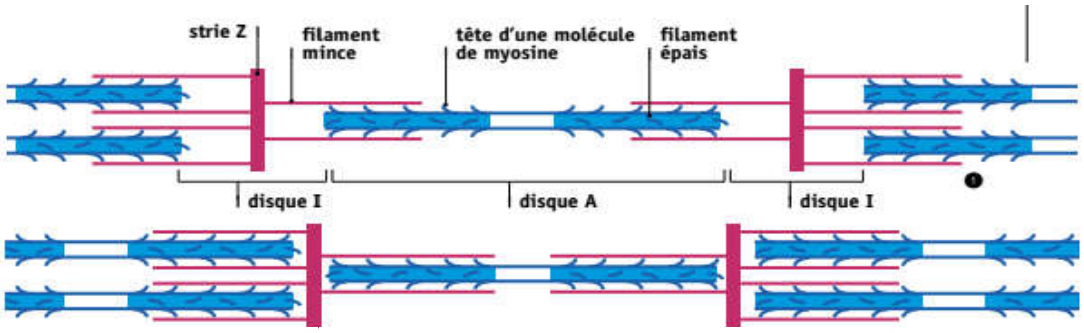
-منطقة(I) منطقة فاتحة.

- منطقة(A) منطقة غامقة.

- منطقة(H) في وسطA.

-منطقة أخرى منI.

لو نظرنا للويفات العضلية على حدة من خلال المجهر الإلكتروني فإننا يمكننا أن نفرق بين نوعين من الخيوط البروتينية المسئولة عن عمل العضلة وتسمى الخيوط الدقيقة بالأكتين، والخيوط السميكة بالميوسين، ويوجد حوالي 3000أكتين و 1500ميوسين بجوار بعضهما البعض في كل ليفة عضلية، وينتج التخطيط العصبي من تنظيم وتناسق هذه الخيوط، ففي المنطقة الفاتحة (I)تضيق المنطقة الموجود بها أكتين وفي المنطقة الداكنة يوجد بها الميوسين والأكتين وبالنسبة للمنطقة(H) التي لا تظهر إلا في حالة استرخاء الساركومير فهي تحتوي على الخيوط السميكة (الميوسين) وغياب الأكتين من المنطقة(H) يجعلها افتح قليلا من المنطقة (A) ولا تظهر هذه المنطقة إلا في حالة ارتخاء الساركومير، حيث إنه أثناء انقباض الساركومير فإن خيوط الأكتين تشد إلى هذه المنطقة وتعطيهم نفس الشكل لباقي منطقة (A).



الشكل رقم (4) يوضح تخطيط الساركومير

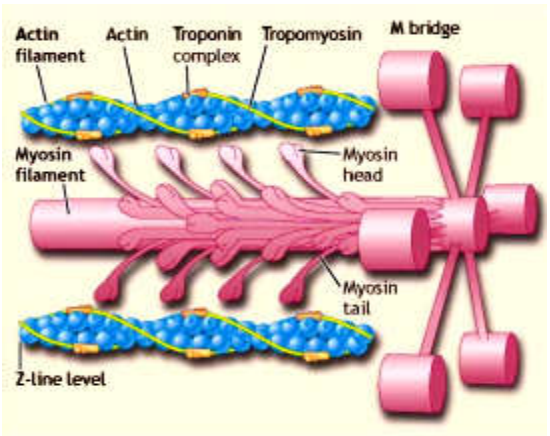
خيوط المايوسين Myosin Filaments

رغم أن كل لويفة عضلية تحتوي على 3000 خيط أكتين وحوالي 1500خيط ميوسين فإن هذه الأقسام تعتبر خادعة، حيث إن ثلثي سمك العضلة يتكون من الميوسين.

وتعتبر خيوط الميوسين سميكة ويتكون كل خيط من الميوسين من 200 وحدة متصل بعضها ببعض في النهاية والجانب.

ويتكون كل جزء من الميوسين من نوعين من البروتينات التي تلتف حول بعضها البعض وفي نهاية كل بروتين رأس كروي يطلق عليه رأس الميوسين.

ويحتوي كل خيط من الميوسين على العديد من الرؤوس التي تخرج من خيوط الميوسين وتصنع ما يسمى بالحواجز المتداخلة التي تعمل أثناء عمل العضلة مع المناطق النشطة الخاصة في الأكتين.



الشكل رقم (5) يوضح خيوط الأكتين و الميوسين

خيوط الأكتين Filaments Actin

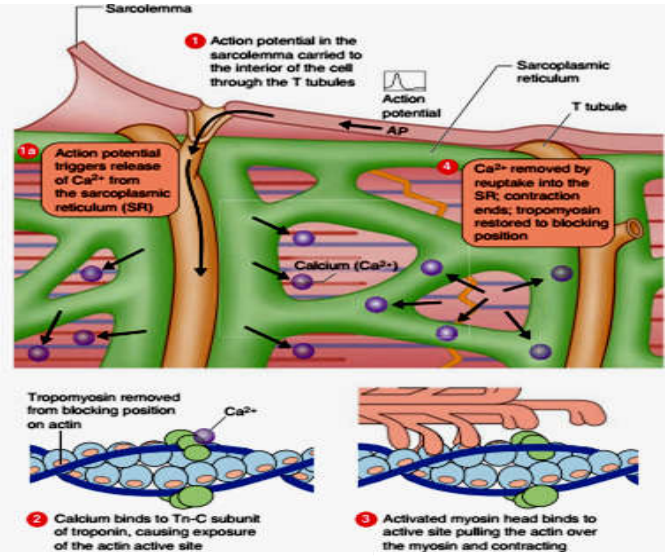
يتكون خيط الأكتين من ناحيتين، الناحية الأولى متصلة بالمنطقة(Z) في الساركومير، والناحية الأخرى تتجه نحو مركز الساركومير ويحتوي كل أكتين على مكان نشط خاص لاتصال الميوسين.

وتتكون خيوط الأكتين من ثلاثة أنواع من البروتينات:

1. **الأكتين** :ويمثل الهيكل الرئيسي من تركيبات الألياف وتكون جزيئات الأكتين على شكل كروي وتتحد مع بعضهما البعض مكونة شبكة من جزيئات الأكتين.
2. **التروبوميوسين** :عبارة عن بروتين على شكل أنبوبي ويلتف حول شبكة الأكتين.
3. **التربونين** :عبارة عن بروتين معقد ويتصل بمساحات منتظمة بكل من التروبوميوسين والأكتين ويعمل التروبوميوسين والتروبونين معا بصورة متداخلة مع أيونات الكالسيوم لحدوث انقباض أو ارتخاء العضلة، وسوف يأتي الشرح بالتفصيل فيما بعد.

2-4:دور الكاليسيوم The Role Of Calcium:

بالإضافة إلى حدوث التأين في جدار الخلية فإن الإشارة العصبية تنتقل من خلال الأنابيب المستعرضة الى داخل الخلية. ووصول هذه الإشارة داخل الخلية إلى الهيكل الساركوبلازمي يؤدي الى إفراز كمية كبيرة من الكالسيوم المختزن الى الساركوبلازم.

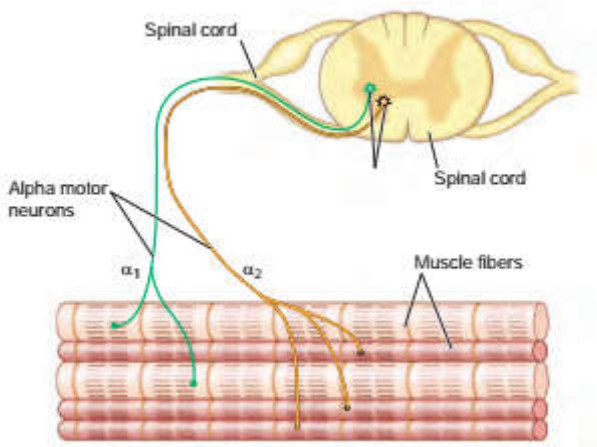


الشكل رقم (6) يوضح دور الكاليسيوم في عملية التقلص العضلي

وفي حالة الراحة فإن جزء التروبوميوسين يوجد على رأس الأماكن النشطة في خيوط الأكتين، وبهذا يمنع الاتصال برؤوس خيوط الميوسين.

وبمجرد خروج أيونات الكالسيوم الى الساركوبلازم يتحد مع التروبونين على خيوط الأكتين، ويلعب التروبونين الذي له ميل شديد تجاه الكالسيوم على بدء الشغل العضلي عن طريق رفع (إزاحة) جزيء التروبوميوسين عن الأماكن النشطة في خيوط الأكتين، حيث أن التروبوميوسين يخبئ الأماكن النشطة في الأكتين فإنه يمنع التجاذب بين الحواجز المتداخلة للميوسين وخيوط الأكتين، وبمجرد رفع التروبوميوسين عن الأماكن النشطة في التروبونين فإن رؤوس الميوسين تتصل بالأماكن النشطة في الأكتين.

4-3:الوحدة الحركية : The motor unit



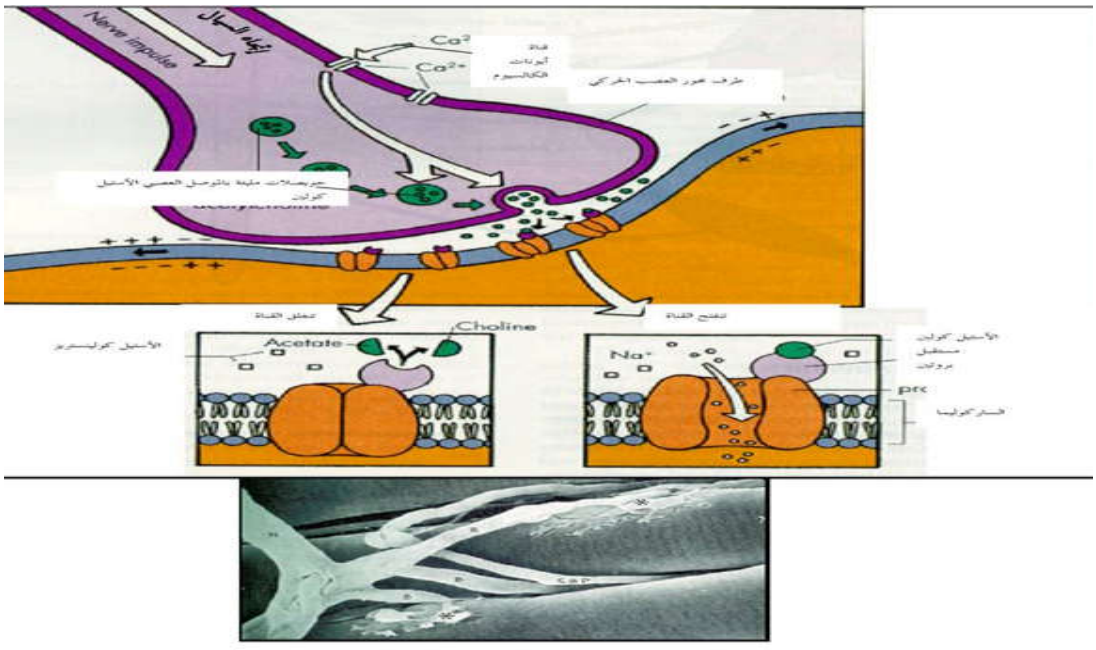
الشكل رقم (7) الوحدة الحركية

تتكون من عصب حركي متفرع إلى ألياف عصبيه وكل ليفه من هذه الألياف العصبية متفرعة إلى فروع يتصل كل فرع منها بليفة عضلية والوحدة الحركية : عبارة عن ليفه عصبيه والألياف العضلية المتصلة بها .

والعصب الحركي لا يغذي أليافاً عضلية متقاربة في العضلة وإنما يغذي ألياف عضلية منتشرة وذلك لكي تساعد على انقباض العضلة ككل في حال ورود اشاره عصبيه إلى مجموعات قليله من الألياف ، مع ملاحظة أن الانقباض لا يكون قويا لان قوة الانقباض تتوقف على عدد الألياف المشتركة فيه.

4-5:كيف يحدث الانقباض العضلي

تنتقل إشارة البدء بالانقباض العضلي من الجهاز العصبي إلى العضلة عن طريق العصب الحركي (الفا) والذي يتصل بالليف العضلي بموقع يسمى نقطة الاتصال العصبي العضلي وعندما تصل الاشاره العصبية خلال العصب المحرك إلى نهايته فإنها تبداء بإفراز الموصل العصبي الذي يدعى بالاستل كولين والذي يلتصق بالساركوليما . في حال التصاق عدد كاف من هذا الموصل العصبي على المستقبلات الخاصة به فان اشاره كهربائية سوف تمتد على طول الليف العضلي



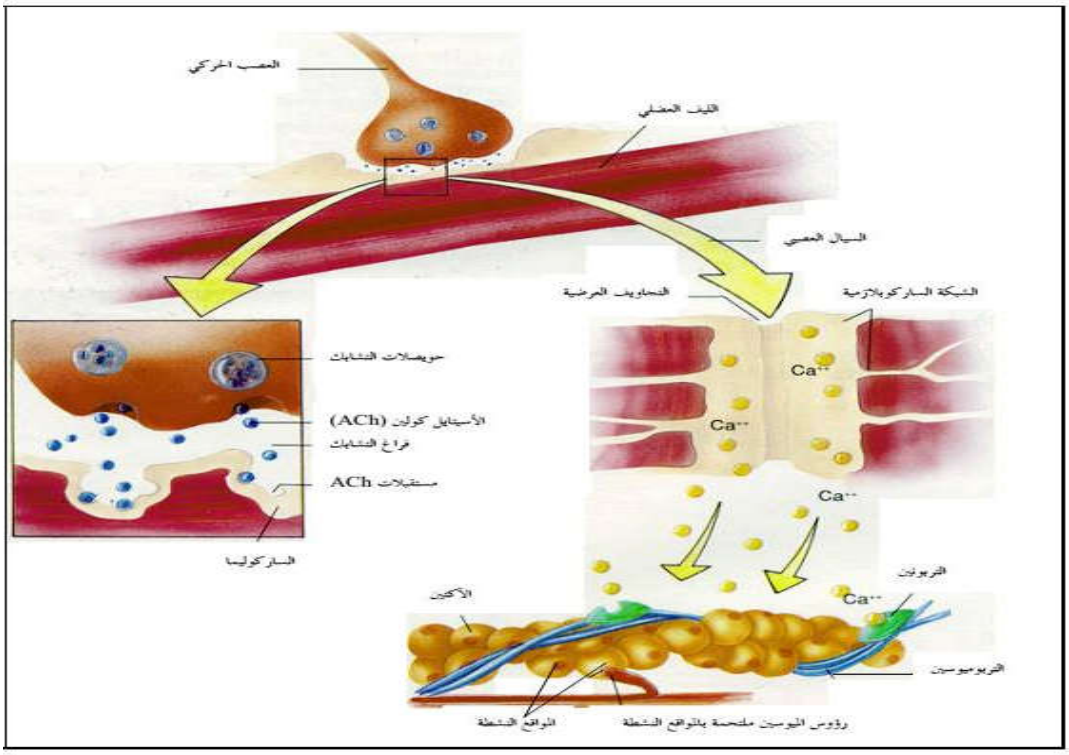
الشكل رقم (8) يوضح سلسلة الأحداث في نقطة التشابك العصبي العضلي

4-4:كيف ينتقل السيال العصبي إلى داخل الليف العضلي وما هو دور الكالسيوم في الانقباض العضلي

يوجد في الليف العضلي شبكه من التجاويف العرضيه والتي تسمح للسيال العصبي بالوصول إلى داخل الليف العضلي من جانب إلى الجانب الأخر

مرور السيال العصبي خلال التجاويف العرضيه يجعل ألشبكه الساركوبلازميه تطلق ايونات الكالسيوم في الساركوبلازم في المكان القريب جدا من الليفات العضلية.

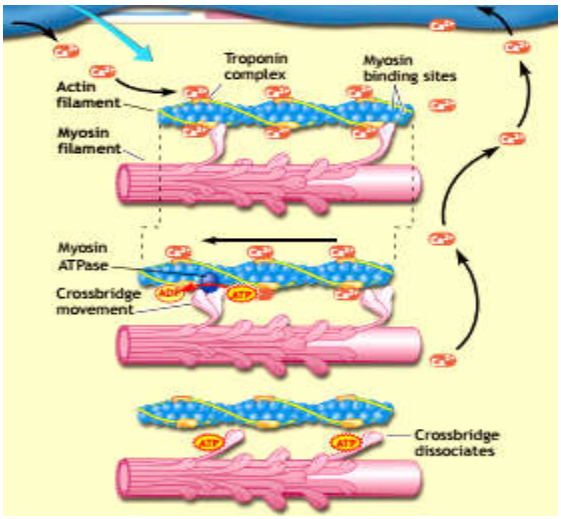
وفي الحقيقة فان ألشبكه الساركوبلازميه هي مخزن ايونات الكالسيوم ففي إثناء الراحة تغطي جزيئات التربومايوسين المواقع النشطة في خيوط الاكتين وهذا ما يمنع رؤوس المايوسين من الالتحام بهذه المواقع ولكن عندما تطلق ايونات الكالسيوم من ألشبكه الساركوبلازميه فإنها تلتحم بالتروبونين والذي يرفع التربومايوسين كاشفا بذلك المواقع النشطة والموجودة في الاكتين وهذا يسمح لرؤوس المايوسين باللتحام مع هذه المواقع محدثه الانقباض العضلي



الشكل رقم (09) يوضح دخول السيال العصبي الى الليف العضلي مما يؤدي الى الانقباض العضلي

4-5:نظرية الخيوط المنزلقة (The Sliding filament Theory)

هذه النظرية تفسر عملية انقباض العضلة نتيجة انزلاق خيوط الاكتين على خيوط المايوسين ، حيث أن رؤوس الجسور المستعرضة للمايوسين هي في الواقع متجهه نحو خيوط الاكتين عندما تلتحم هذه الجسور المستعرضة بخيوط الاكتين يحدث لها تغير في التركيب حيث تنثني رؤوس الجسور باتجاه الذراع وتسحب معها خيوط الاكتين في اتجاه وسط المايوسين ، حيث أن هذه الجسور المستعرضة متصلة بخيوط الاكتين من طرفي الساركومير بحيث تسحب خيوط الاكتين إلى داخل (وسط) الساركومير مما يحدث قصر وتقلص للساركومير وبالتالي انقباض للعضلة ككل .



الشكل رقم (10) يوضح نظرية الخيوط المنزلقة

4-6:من أين تأتي هذه الطاقة التي تتسبب في هذه الحركة وهذا الانزلاق

تعتبر عملية الانقباض العضلي عمليه ايجابيه وتستلزم توفر الطاقة و بالإضافة إلى موقع الاتصال للأكتين ، فان رأس المايوسين يحتوي على موقع اتصال لثلاثي أدينوسين الفوسفات (ATP) ويجب أن يتحد جزئ المايوسين مع ثلاثي الأدينوسين الفوسفات لحدوث العمل العضلي لان ثلاثي أدينوسين الفوسفات يقوم بتزويد الوقود اللازم .

يقوم الإنزيم (ATPase) الموجود على رأس المايوسين بشطر (ATP) مما يعطينا ذلك ثنائي أدينوسين الفوسفات (ADP) والفوسفات غير العضوي (Pi) بالإضافة للطاقة . وتستخدم الطاقة الناتجة من هدم الـ (ATP) لاتحاد رأس المايوسين مع خيط الاكتين ، لذلك فان الـ (ATP) هو مصدر الطاقة الكيميائي لعمل العضلة .

4-7:أنواع الألياف العضلية:

تتكون الألياف العضلية من مجموعه ألياف عضلية غير أن هذه الألياف جميعها لا تتشابه في خصائصها الكيميائية أو الانقباضية وتصل الألياف البطيئة إلى قمة الانقباض عند استثارتها خلال (110) ملي ثانيه بينما تصل الألياف السريعة إلى قمة الانقباض خلال (50) ملي ثانيه وقد تنقسم الألياف العضلية إلى عدة أنواع مختلفة تبعا لسرعة وقوة الانقباض غير أن النوعية الأساسية هما الألياف العضلية السريعة والألياف العضلية البطيئة ويمكن أن ينقسم كل نوع إلى بعض الأنواع الأخرى الفرعية

4-7-1 الألياف العضلية البطيئة Fibres lentes

وتحتوي هذه الألياف على عدد كبير من الإنزيمات وكذلك حجم كبير من الميتوكندريا وتحاط بعدد اكبر من الشعيرات الدموية وتركيز عال للهيموجلوبين ونشاط عال لإنزيمات الميتوكندريا ، لذلك فهي ألياف ذات سعه كبيره للتمثيل الغذائي الهوائي ومقاومه عاليه للتعب ، وبالنسبة للخصائص الانقباضية فهي إبطاء في سرعة الانقباض مقارنة بالألياف السريعة كما أنها اقل قوه في الانقباض العضلي غير أنها أكثر فعاليه مقارنه بالألياف السريعة

4-7-2 الألياف العضلية السريعة Fibres rapide

تتميز الألياف العضلية السريعة ببعض الخصائص التي تساعد على سرعة الانقباض وتشمل :-

- سرعه عاليه لانقباض فروق الجهد الكهربائية
- مستوى عال لنشاط إنزيم (ATPase)
- سرعة إظهار وسحب ايونات الكالسيوم من ألشبكه الساركوبلازميه

كل هذه الخصائص تساعد الألياف على سرعة تحويل الطاقة وبالتالي سرعة الانقباض العضلي بحيث تتضاعف هذه السرعة من 2-3 إضعاف أسرع من الألياف البطيئة

تنقسم الألياف العضلية السريعة إلى قسمين

أ- الألياف العضلية السريعة (أ) fibre Type II

ويطلق عليها أيضا الألياف الوسطية Les fibres intermédiaires أو الألياف سريعة الأكسدة الجليكوجينيه بدون الأكسجين وهذا النوع من الألياف يعتبر ذا خصائص وسطيه ما بين الألياف البطيئة يمكن أن يظهر على انه خليط ما بين الألياف البطيئة من النوع الأول والألياف السريعة من النوع الثاني (ب) السريع وهو ألياف قابله للتكيف تبعا لتأثير توعية التدريب فحينما يكون اتجاه التدريب لتنمية التحمل فان سعتها الأوكسجينية تزيد لتتساوى من النوع البطيء الأول

ب- الألياف العضلية السريعة (ب) fibre Type I

يطلق عليه أحيانا ألياف الخلجة السريعة Fibres rapide أو الألياف الجليكوجينيه السريعة وهي تحتوي على عدد قليل من المايتوكندريا وبذلك تقل مقاومتها للتعب غير أنها غنية بإنزيمات الجليكوجينيه Enzymes glycolytiques وهذا يساعدها على السعه الحيوية اللاهوائيه ويشبه الانقباض العضلي للنوع الثاني (b) نفس انقباض النوع الثاني (a) ولكنه اكبر منه كما أن نشاط إنزيم (ATPase) في النوع الثاني (b) أعلى منه في باقي أنواع الألياف العضلية وينتج عن ذلك ارتفاع سرعة الانقباض.

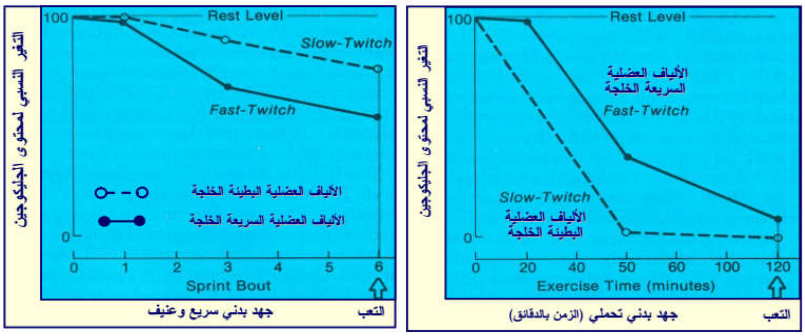
الجدول رقم (01) يوضح الفرق بين أنواع الألياف العضلية

	بطيئة الخلجة	سريعة الخلجة IIa	سريعة الخلجة IIb
المصدر الرئيس لإنتاج (ATP)	التأكسد للفوسفات	التأكسد للفوسفات	تحلل الجلوكوز
الميتوكوندريا	كثير	كثير	قليل
الشعيرات الدموية	كثير	كثير	قليل
محتوى الميوجلوبين	عالي (احمر)	عالي (احمر)	قليل (ابيض)
نشاط الإنزيم الحال للسكر	منخفض	متوسط	عالي
محتوى الجليكوجين	منخفض	متوسط	عالي
معدل التعب	بطئ	متوسط	سريع
نشاط ATPase في الميوسين	منخفض	عالي	عالي
سرعة تقلص العضلة	بطئ	سريع	سريع
قطر الليف العضلي	صغير	متوسط	كبير
حجم الوحدة الحركية	صغير	متوسط	كبير
حجم الألياف العصبية المحركة	صغير	متوسط	كبير
تنحية ايون الكالسيوم C^{++}	بطيء	سريع	سريع

4-8:نوع الألياف العضلية و التدريب:

ويؤدي التدريب البدني التحملي(الهوائي) إلى رفع كفاءة وفعالية الألياف العضلية البطيئة الخلجة، بينما يؤدي التدريب البدني العنيف والقصير الأمد إلى رفع كفاءة الألياف العضلية السريعة الخلجة. وتشير البحوث العلمية الحديثة إلى أنه لا يمكن تحويل أي نوع من تلك الألياف إلى النوع الآخر عن طريق التدريب البدني، لكن التدريب البدني الهوائي (التحملي) يعمل على توظيف (استخدام) الألياف العضلية البطيئة الخلجة، وبالتالي يقود إلى تطورها، بينما يعمل التدريب البدني العنيف على توظيف الألياف العضلية السريعة الخلجة، وبالتالي يؤدي إلى تطور تلك الألياف. كما تجدر الإشارة إلى أن تحديد نسبة الألياف العضلية لدى الفرد يخضع للوراثة (أي أن الفرد يولد ولديه نسبة معينة من الألياف العضلية لا يمكن تغييرها)

وتشير دراسة التركيب التشريحي للألياف العضلية إلى أن الألياف بطيئة الخلجة يتصل بها في الغالب أعصاب حركية صغيرة بينما يتصل بالألياف سريعة الخلجة أعصاب حركية كبيرة. ولقد أوضح تحليل مستوى الجلايكوجين في العضلات عن طريق أخذ عينات صغيرة من العضلات العاملة قبل وأثناء وبعد أداء جهد بدني إلى أن الألياف العضلية البطيئة الخلجة توظف بشكل أكبر أثناء الجهد البدني المتواصل والمعتدل الشدة بينما توظف الألياف العضلية السريعة الخلجة بشكل أكبر عندما تزداد شدة الجهد البدني



الشكل رقم (11) يوضح استخدام الجليكوجين حسب نوعية الجهد

4-9:أنواع الانقباضات العضلية:

4-9-1: الانقباض العضلي الثابت (Isometric):

هو انقباض عضلي بدون حدوث حركة للألياف العضلية، حيث يحدث توتر للعضلة ولكن بدون تقلص أو استطالة لها، وعليه فإن القوة تساوي المقاومة. ومن أمثلة هذا الانقباض دفع الحائط، أو الضغط باليدين على بعضهما البعض بدون حدوث حركة، أو إحداث انقباض لعضلات الفخذ الأمامية والساق ممدودة.

4-9-2: الانقباض العضلي المتحرك (Dynamic)

هو انقباض عضلي متحرك،أي ينتج عنه شغل من جراء تقلص العضلة المنقبضة أو استطالتها. وهو الانقباض الشائع في معظم الحركات الرياضية، أي تؤدي العضلة عملا ميكانيكيا ظاهراً مثل: المشي والجري واستخدام اليد في الكتابة.و هو ينقسم إلى ثلاث أنواع و هي الانقباض الايزوتوني ،مشابه للحركة و البليومتري.

4-9-2-1:الانقباض العضلي الايزوتوني:Contraction isotonique

أ- الانقباض الايزوتوني المركزي:Contraction isotonique concentrique

في هذا النوع تتقلص العضلة بتقصير أليافها ويكون تقلص الألياف في اتجاه مركز العضلة, ويحدث ذلك نتيجة زيادة القوة الناتجة من العضلة مقابل المقاومة التي تلاقيها, ومن الأمثلة على ذلك جميع حركات الانقباض العضلي أو

التمرينات التي تؤدى إلى حدوث ثني Flexion في المفصل, مثل انقباض العضلة ذلت الرأسين العضدية Biceps Brachials التي تعمل على ثني الساعد على العضد وانقباض العضلة الرفيعة الفخذية التي تعمل على ثني الفخذ.

ب-الانقباض الإيزوتوني اللامركزي: Contraction Isotonique excentrique

حيث تنقبض العضلة في عكس الاتجاه السابق, أي بعيد عن مركزها, والانقباض هنا يحدث بالتطويل في الألياف العضلية, وهذا الانقباض ينتج غالبا عن زيادة مقدار المقاومة عن القوة الناتجة بواسطة العضلة، ومن الأمثلة على ذلك الانقباض الذي يحدث بواسطة العضلات المثنية للذراعين Arm Flexors عند خفض الجسم بعد الشد على جهاز العقلة

4-9-2-2: الانقباض المشابه للحركة أيزوكينتيك isocinétique :

وهو نوع الانقباض العضلي الذي يؤدي بسرعة ثابتة وعلى المدى الكامل للحركة بحيث يأخذ الشكل الطبيعي لأداء الحركات الفنية التخصصية ، فتقصر الألياف العضلية أو تطول عند انقباضها وفقا للحركة المطلوبة ، ومن أمثلة ذلك حركات الشد في السباحة والتجديف.

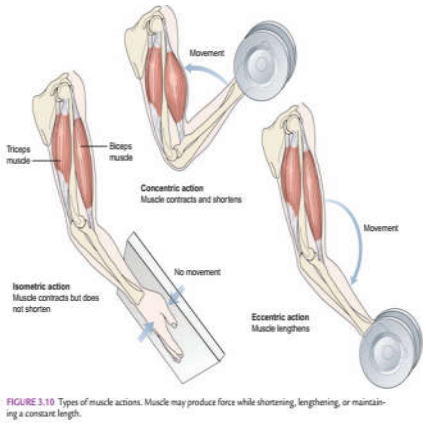
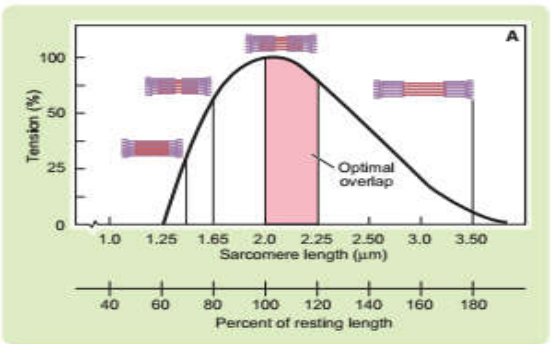


FIGURE 3.10 Types of muscle actions. Muscle may produce force while shortening, lengthening, or maintaining a constant length.

الشكل رقم (12) يوضح أنواع الإنقباضات العضلية

4-9-2-3:الانقباض البليومتري Contractionpliométrique:

وفيه تمط العضلة بأكثر من طولها العادي قبل الانقباض مباشرة، وبعبارة أخرى فإن الانقباض يتم خلال عمليتين متتاليتين في اتجاهين مختلفين، يبدأ الانقباض بعمل مطاطية سريعة للعضلة كاستجابة لتحميل متحرك مما ينبه أعضاء الحس, العصبية العضلية Neuromusculaire proprioceptif فتقوم بعمل رد فعل انعكاسي يحدث انقباضا عضليا سريعا يتم بطريقة تلقائية، ويعمل على خزن الطاقة المطاطية في الألياف العضلية.

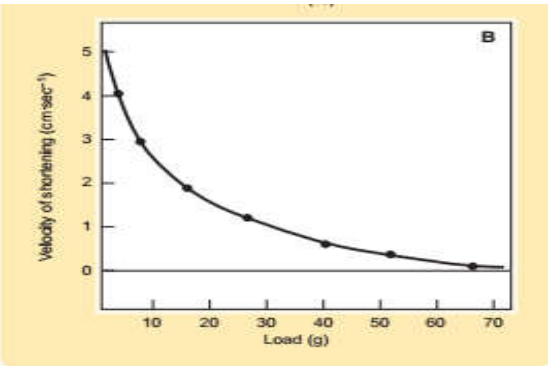


الشكل رقم (13) يوضح علاقة التوتر العضلي بطول القسيمة العضلية

4-10:علاقة التقلص العضلي بتراكب خيوط الأكتين و الميوسين:

يبين الشكل (13)تأثير طول القسيم العضلي و تراكب خيطي الميوزين-الأكتين على الشد الفعال الذي يولده ليف عضلي معزول عند تقلصه،حيث نرى انه عندما لا

يكون أي تراكب بين خيوط الأكتين و الميوسين فتوتر العضلة يساوي الصفر بينما يزداد التوتر تدريجيا حتى يبلغ أقصاه عند طول قسيم يساوي 2 ميكرون ،بينما يبدأ بالانخفاض تدريجيا عندما يهبط طول القسيم العضلي عن 2 ميكرون الى 1,65 ميكرون و تبدأ بالهبوط تدريجيا الى كلما صغر طول القسيم ،يبين هذا الشكل بأن التقلص الأقصى يحصل عندما يكون هناك تراكبا أقصى بين خيوط الأكتين و الجسور المستعرضة للميوزين مما يدعم الفكرة بأنه كلما زاد عدد الجسور العابرة التي تسحب خيوط الأكتين زادت شدة التقلص.



الشكل رقم (14) يوضح علاقة الحمل بسرعة التقلص

4-11:علاقة سرعة التقلص بالحمل:

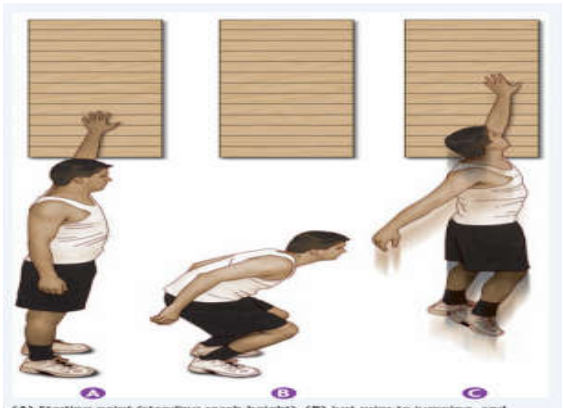
تتقلص العضلة بسرعة كبيرة عندما لا تحمل أي حمل و تتقلص العضلة الاعتيادية الى حالة التقلص الكامل خلال 0.1 من الثانية تقريبا،و لكن عند حملها للحمل تقل سرعة تقلصها تدريجيا كلما زاد حملها كما هو مبين في الشكل (14) و عند زيادة الحمل ليبلغ الشدة القصوى التي يمكن للعضلة توليدها تصبح سرعة التقلص صفرا و لا يولد أي تقلص فيها أبدا بالرغم من تنشيط العضلة .

و ينجم نقص السرعة هذا مع زيادة الحمل عن حقيقة ان الحمل على العضلة المتقلصة هو شدة معكوسة تضاد شدة التقلصية التي يولدها تقلص العضلة،لذا فان محصلة القوى التي تتوفر لتوليد السرعة تقل بنسب متماثلة.

4-12:اختبار القوة العضلية :اختبار سارجنت هو أحد اكثر الاختبارات تداولا في تقدير القدرة اللاهوائية القصوى لعضلات الرجلين أو القوة الانفجارية .

حيث يقوم المختبر بالوقوف جانبا الى سطح مرقم ثم تسجل أعلى علامة وقوفا ،ثم يقوم المختبر بالقفز و تسجيل أعلى علامة من القفز عموديا.

يحسب الفرق بين العلاميتين و يوظف في معادلة الآتية:



الشكل رقم (15) يوضح اختبار القفز العمودي لقياس القوة العضلية الانفجارية للرجلين

$$P=60.7(vj_{cm})+45.3(BM_{kg})-2055$$

p...القدرة اللاهوائية القصوى

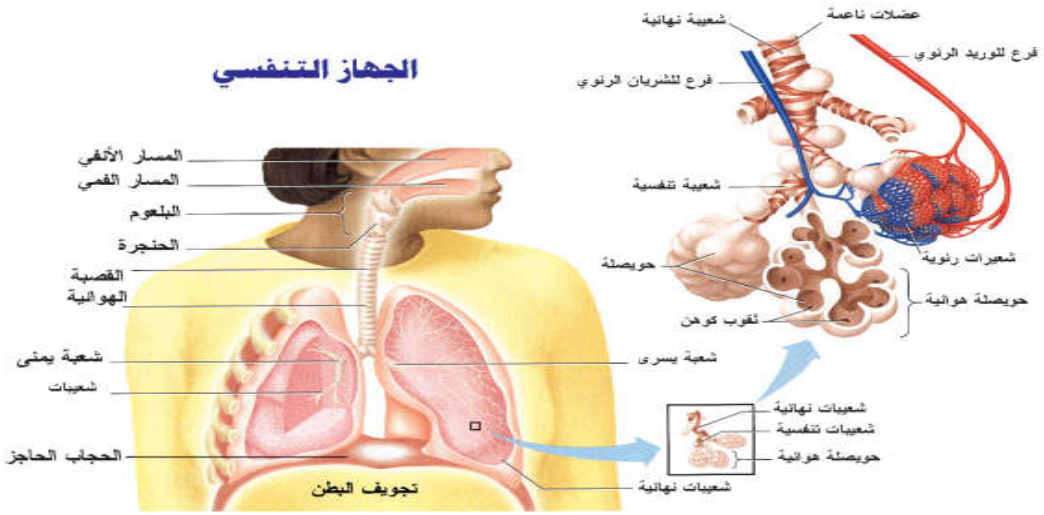
Vj...طول الوثبة العمودية BM...وزن الجسم

5- الجهاز التنفسي

5-1:تركيب الجهاز التنفسي :

هو الجهاز الذي يمد الجسم بالأكسجين من الهواء الخارجي و يخلصه من ثاني أكسيد الكربون الناتج من العمليات الأيضية من خلال عملية التنفس .

يتكون الجهاز التنفسي من فتحة الأنف،تجويف الأنف ،البلعوم ،الحنجرة ،القصبة الهوائية ،الشعبتين ،ثم تتفرع إلى شعيبات أصغر فأصغر و التي يقدر عددها بحوالي مليون نهاية شعبية حتى تنتهي بالحويصلات الهوائية (مكان تبادل الغازات) و التي يقدر عددها حوالي 300 مليون حويصلة حيث يتراوح قطر الواحدة منها 75 إلى 300 ميكرون و هي محاطة بخصلة من الشعيرات الدموية رقيقة الجدار لسهولة تبادل الغازات ،يصل وزن الرئتين إلى واحد كيلوغرام و مساحتها تصل إلى 80 متر أي أنه تغطي نصف مساحة ملعب للكرة الطائرة و ينقسم الجهاز التنفسي إلى منطقتين:



الشكل رقم (1) يوضح تركيب الجهاز التنفسي مع الحويصلات الهوائية

5-1-1 منطقة التوصيل conducting part

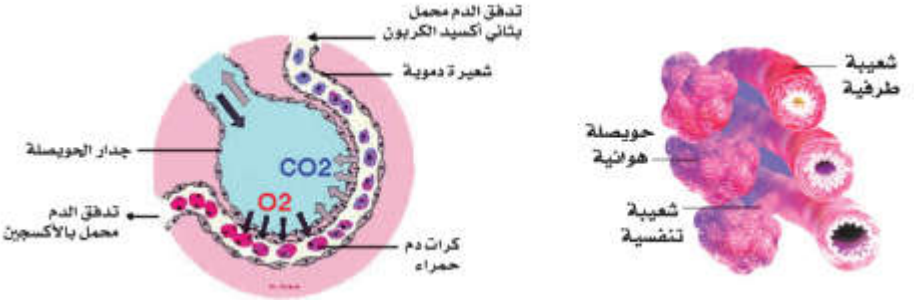
و هي المنطقة التي لا يتم فيها تبادل الغازات و تشمل الأنف و البلعوم و الحنجرة و القصبة الهوائية و الشعبتين و جزء من الشعب الهوائية و تسمى (بالمنطقة التشريحية الخاملة) و يصل حجمها 150-200 مليلتر

الشكل رقم (2) يوضح تركيب المنطقة التشريحية الخاملة (منطقة التوصيل)

5-1-2 منطقة التنفس respiratory part

و هي المنطقة التي يتم فيها تبادل الغازات بين الحويصلات الهوائية و الدم،و تعتبر الوظيفة الرئيسية للحويصلات الرئوية هي تبادل غازي

الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون بينها و بين الشعيرات الدموية المحيطة بها،و يغطي الحويصلات مادة سطحية من الفوسفوليبيدات لخفض الضغط السطحي على أغشية الحويصلات كما تنتشر الخلايا الدفاعية على سطحها الداخلي.



الشكل رقم (3) يوضح منطقة تبادل الغازات

5-2:وظائف الجهاز التنفسي:

1- الوظيفة الرئيسية للجهاز التنفسي هي توفير الأكسجين لخلايا الجسم و التخلص من ثاني أكسيد الكربون الناتج من العمليات الأيضية .

2- المحافظة على الاستتباب للتوازن الحمضي.القاعدي ph للجسم.

3- تدفئة و ترطيب هواء الشهيق و تخليصه من الأتربة

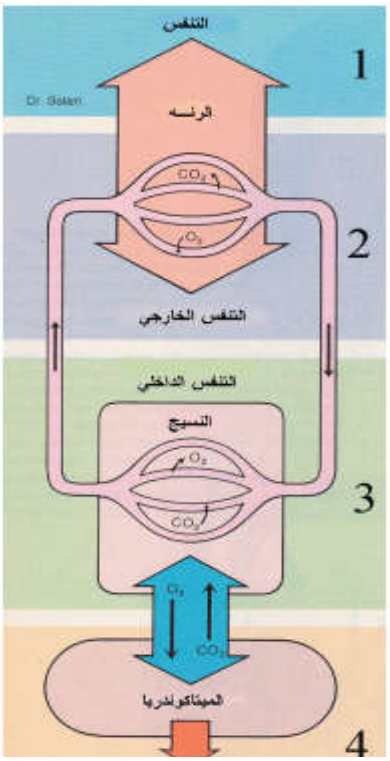
4- الوقاية من المكروبات و المواد الضارة التي تدخل الجسم مع هواء الشهيق .

5- الكلام لاحتوائه على أعضاء الكلام (الأوتار الصوتية)

6- تنظيم درجة حرارة الجسم (التخلص من الحرارة و الماء الزائد)

7- حركة الشهيق و الزفير تؤثر على العائد الوريدي من الدم إلى القلب ، و ايضا العائد اليمفاوي.

8- اخراج فضلات المواد الطيارة مثل الكحول و الاسيتون و الميثان.



الشكل رقم (4) يوضح مراحل التنفس و التبادل الغازي

5-3:عملية التنفس و التبادل الغازي: تنقسم إلى أربع خطوات:

1- التهوية الرئوية pulmonary ventilation

هي عملية دخول و خروج الهواء الغني بالأكسجين إلى الرئتين عبر المجاري التنفسية حتى الوصول إلى الحويصلات الهوائية،كذلك خروج ثاني أكسيد الكربون المنتج من الحويصلات الهوائية الى الهواء الخارجي.

2- الانتشار الرئوي pulmonary diffusion

و تسمى أيضا عملية تبادل الغازات الرئوية حيث يتم تبادل غازي الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون بين الحويصلات الهوائية و الشعيرات الدموية المحيطة بها .

الخطوة الأولى و الثانية يطلق عليهما التنفس الخارجي.

3- عملية نقل الغازات gas transport

هي عملية يقوم بها الجهاز الدوري من خلال ضخ الدم الذي يحتوي على الهيموغلوبين المسؤول عن حمل و نقل غازات التنفس.

4- مرحلة الانتشار الخلوي cellular diffusion

في هذه الخطوة يتم تبادل غازات التنفس الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون بين الشعيرات الدموية و خلايا الجسم ،و يطلق على هذه الخطوة التنفس الداخلي.

الشكل رقم (6) يوضح الأعصاب المتصلة بالعضلات الشهيقية

5-4:التغذية العصبية للجهاز التنفسي :تتلقى العضلات التنفسية إشارات عصبية من مراكز التحكم في التنفس في كل من جسر المخ (مثبط) و النخاع المستطيل بالدماغ (منبه) لعضلات التنفس ،يخرج منها العصب المتصل بالحجاب الحاجز و يسمى بالعصب الحجابي .

5-5:التحكم في التنفس: يتم التحكم في عملية التنفس من خلال مراكز التحكم في التنفس الموجودة بجسر المخ و النخاع المستطيل بالدماغ ،و هي تتصل بالعضلات التنفسية من خلال أعصاب حركية،تعمل مراكز التنفس على زيادة و خفض معدل التنفس و أيضا عمق التنفس من خلال معلومات يتلقاها من أماكن عديدة أهمها :

- المستقبلات الكيميائية المركزية على سطح النخاع
- المستقبلات الكيميائية الطرفية في الجسم السباتي و الأبهر
- مستقبلات التمدد في الرئتين و مغازل العضلات التنفسية
- المستقبلات الحسية في العضلات العاملة و المفاصل
- درجة حرارة الجسم في غدة المهاد و تحت المهاد بالدماغ.

5-6:التهوية الرئوية أثناء الراحة: Pulmonary Ventilation At Rest

التهوية الرئوية أثناء الراحة عملية متكررة نتيجة الشهيق والزفير، وهي مختلفة من فرد لآخر، وهذا الاختلاف ليس كبيراً، ولكنه موجود ويرجع ذلك إلى حجم الجسم وعوامل فسيولوجية أخرى.

ويطلق على حجم الهواء الذي يدخل الرئتين في الدقيقة الواحدة (سعة الرئتين التنفسية) أو التهوية في الدقيقة، وهي تعادل كمية الهواء الذي يدخل الرئتين في دورة تنفسية واحدة مضروبة في عدد الدورات التنفسية في الدقيقة، وقد وجد أن متوسط حجم الهواء الذي يدخلا لرئتين في الدورة الواحدة حوالي 500سم^3 وأن عدد الدورات التنفسية في الدقيقة 16 دورة فتكون التهوية أثناء الراحة في الدقيقة الواحدة 500 × 16 = 8 لترات في الدقيقة .

1. كمية الهواء التي تخرج في الزفير من نفس واحد (مرة واحدة) TV.
2. تردد التهوية، كم شهيق أو زفير في الدقيقة F.

$$VE = TV \times F$$

5-7:التهوية الرئوية أثناء التمرينات: Pulmonary Ventilation During Exercise

التهوية الرئوية (السعة التنفسية القصوى) أثناء التمرينات يمكن أن تصل إلى أكثر من 180 لتر/ق، أي أن الزيادة يمكن أن تصل من 20-25 ضعف الكمية المستخدمة أثناء الراحة. وهذه الزيادة تكون عن طريق زيادة عمق الشهيق الناتج من قوة عضلات التنفس حيث يبلغ 800 سم^3 في المرة الواحدة، وكذلك لسرعة الشهيق والزفير حيث يصل إلى أكثر من 25 مرة في الدقيقة.

كما أن التهوية الرئوية لا تقتصر زيادتها أو تحسينها أثناء التمرينات فقط، بل إنها تتغير قبل التمرينات وأثناء التمرينات وبعد التمرينات، وهي تتناسب مع درجة الجهد والحمل الملقى على عاتق الفرد الرياضي.

1. قبل التدريب مباشرة:

تزيد التهوية في اللحظات قبل بداية التمرين وأن استقرار الجسم للتمرين هو الذي يزيد التهوية.

2. أثناء التمرين:

أ. زيادة سريعة جداً خلال الثواني الأولى من بداية التمرين للتهوية وهذا عائد للتحفيز التنفسي والعصبي للتمرين.

ب. في المرحلة الثانية تتحدد الزيادة السريعة وتصبح زيادة بسيطة.

3. بعد التمرين:

أ. في الثواني الأولى يحدث انخفاض سريع ومفاجئ في عملية التهوية.

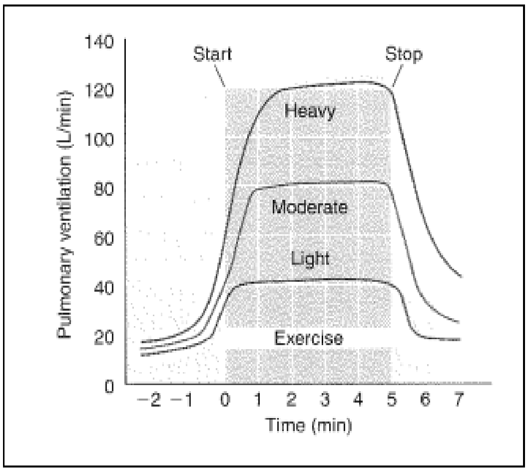
ب. بعد الثواني الأولى يحدث تناقص بطيء ويتجه نحو القيم في فترة الراحة.

وكلما زادت شدة التمرين تطول الفترة للعودة للراحة، وهناك اعتقاد أن السبب هو زوال التأثير التنفسي.

إن القدرة الهوائية متعلقة بمد العضلات بالأوكسجين والقدرة العالية للعضلات على امتصاصه إذ أن القدرة الهوائية تعد الأساس البيولوجي المحدد لمستوى الأداء الطويل الزمن وأهم المقومات لقدرة التحمل الأساسي وتتناسب الزيادة في VE طردياً مع الزيادة في كمية الأكسجين وثاني أكسيد الكربون المستخدمة من قبل العضلات التي تؤدي التمرين.

إن تنظيم VE يعتمد على إطلاق ثاني أكسيد الكربون وليس على الأكسجين المكتسب.

لكن بعض العلماء يقول أن الأطراف عند غير الرياضي تكون تنفسها أكثر من الرياضي.



الشكل رقم (7) يوضح تأثير شدة الجهد على حجم التهوية الرئوية

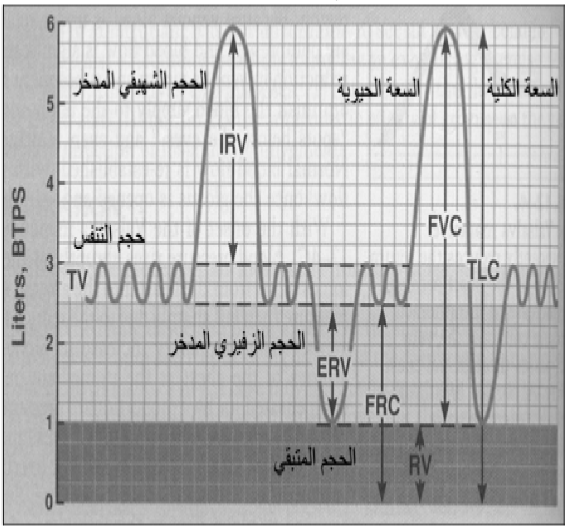
وأوضحت الكلية الأمريكية للطب الرياضي في مقارنة بين تمرينات الذراعين والرجلين أن كمية الأكسجين المستوعبة أثناء تمرينات الذراعين أكثر منها أثناء تمرينات الرجلين، وأن كفاءة عضلة القلب أثناء تمرينات الذراعين تكون أفضل منها أثناء تمرينات الرجلين.

إن حجم الهواء الداخل إلى الرئة أكبر وبدرجة قليلة جداً من حجم الهواء الخارج منها، وذلك بسبب إن ما يستهلك من الأكسجين هو أكثر مما يطرح من ثاني أكسيد الكربون.

5-8:السعات والحجوم التنفسية والرئوية

5-8-1:للحجوم التنفسية الرئوية

- **حجم التنفس(TV) Tidal Volume**:حجم الهواء الذي يدخل ويخرج عادة إلى ومن الرئتين في نفس واحد هادئ (~500 مليلتر)
- **الحجم الشيهقي المدخر Inspiratory Reserve Volume (IRV)**: الحد الأقصى لحجم الهواء الذي يمكن استنشاقه بعد استنشاق حجم التنفس الطبيعي (~3000 مليلتر)



الشكل رقم (8) يوضح الحجوم و السعات التنفسية

- **الحجم الزفيري المدخر Exspiratory Reserve Volume (ERV)**: الحد الأقصى لحجم الهواء الذي يمكن إخراجه بعد زفير حجم التنفس الطبيعي (~1000 –1500 مليليتر)

– **الحجم المتبقي Residual Volume** (**RV**) :كمية الهواء المتبقية في الرئتين بعد الزفير الأقصى والتي لا يمكن إخراجها من الرئتين(1000-1200 مليلتر)

5-8-2:السعات الرئوية:

–السعة الحيوية Vital Capacity (**FVC**) :

الحد الأقصى لحجم الهواء الذي يمكن استنشاقة بعد زفير أقصى، ويعبر عنه بمجموع حجم التنفس والحجم الشهيقي المدخر والحجم الزفيري المدخر(4500-5000مليليتر)

– السعة الشهيقية Inspiratory Capacity

(**CI**) :حجم الهواء الذي يمكن استنشاقه بعد زفير عادي

؛ ويعبر عنه بمجموع حجم التنفس والحجم الشيقي المدخر

(~ 3500 مليليتر)

– السعة الوظيفية المتبقية Functional Residual Capacity (**FRC**) :حجم الهواء المتبقي في الرئتين بعد زفير عادي، ويعبر عنه بمجموع الحجم الزفير المدخر والحجم المتبقي(2200-2500 مليليتر)

– السعة الكلية Total Lung Capacity (**TLC**) :أقصى قدر ممكن من الهواء يمكن استيعابها في الرئتين، ويعبر عنه بمجموع السعة الحيوة والحجم المتبقي(5700- 6000مليليتر)

5-9:تكيف العمليات التنفسية للجهد البدني

يؤدي الانتظام في مزاولة التدريب الرياضي و بصفة خاصة أحمال التدريب الهوائية التي تعتمد على استخدام الأكسجين و تتميز بها رياضيات التحمل ،إلى جملة من التغيرات الفسيولوجية التي تعتبر عن كفاءة كملية التنفس لدى الرياضيين و تكيفها للتدريب الرياضي مقارنة بالأفراد غير الممارسين للرياضة ،و تتلخص أهم أنواع التكيف فيما يلي:

أولا: يقل عدد مرات التنفس لدى الرياضيين من غير الرياضيين ،كما يتميز الرياضيون بعمق عمليات التنفس مما يجعلهم أقل عرضة للوصول إلى النهجان و التنفس السريع عند أداء المجهود و يصل حجم هواء التنفس العادي لدى الرياضيين في حالة الراحة ما بين 700 -800 مليلتر مقارنة بمقدار 500 مليلتر عند غير الرياضيين.

ثانيا: ترتفع كفاءة اللاعب في استغلال و استهلاك الأكسجين لإنتاج الطاقة مقارنة بغير الرياضيين ،و تتميز تلك الظاهرة لدى الرياضيين في ثلاث جوانب هي : كفاءة عمليات استيعاب الأكسجين – عمليات نقل و امتصاص الأكسجين- عمليات استهلاك الأكسجين في نشاط العضلات .

ثالثا:تتحسن قوة و كفاءة عضلات التنفس و خاصة عضلات ما بين الضلوع و عضلة الحجاب الحاجز ،فيزداد حجم القفص الصدري اتساعا و مرونة خلال عملية التنفس، و هذا يسمح لأداء العمليات التنفسية على نحو أفضل لدى الأشخاص الرياضيين و بصفة خاصة عند أداء الجهد البدني.

رابعا: يزداد حجم السعة الحيوية للرئتين VC و كذا الحد الأقصى للتهوية الرئوية MVV نتيجة لعدد من التغيرات المورفولوجية و الفيسيولوجية في وظائف الرئتين و أعضاء التنفس ،كما يرتبط ذلك بزيادة حجم احتياطي هواء الشهيق عن احتياطي هواء الزفير لدى الرياضيين المدربين .

خامسا: تزداد الأحجام الرئوية بشكل عام لدى رياضيي التحمل و الأشخاص المدربين مقارنة بغير المدربين نتيجة لتحسن كفاءة الرئتين ووظائف التنفس و تكيفها لعمليات التدريب الرياضي المنتظم و المستمر

سادسا: يؤدي التدريب الرياضي المنتظم إلى زيادة كثافة الشعيرات الدموية المحيطة بالحويصلات الهوائية للرئتين نتيجة تفتح عدد من الشعيرات الدموية المقفلة أو الخاملة أو تولد شعيرات دموية جديدة تحت تأثير التكرارات المتواصلة لأداء الجهد البدني ،و على أي حال فان زيادة عدد أو كثافة الشعيرات الدموية يؤدي إلى زيادة المساحة أو المسطح الخاص بتبادل الغازات بين تلك الشعيرات و بين الحويصلات الهوائية للرئتين و خاصة عند أداء الجهد البدني مما يميز الرياضيين بكفاءة تنفسية أفضل من غيرهم .

سابعا: تتحسن العمليات التوافقية بين ميكانيكية التنفس و حجم المجهود البدني المبذول ،و تساعد تلك العملية على حدوث استقرار أطول و أفضل لما يعرف بالحالة الثابتة Steady state لوظائف الجسم الفسيولوجية عند أداء المجهودات البدنية ،و خاصة تلك التي تتميز بالاستمرارية لفترات زمنية طويلة في أنشطة التحمل الدوري التنفسي .

ثامنا : ترتفع كفاءة استغلال الأكسجين في حالة الراحة لدى الرياضيين نتيجة لعدد من التغيرات المورفولوجية و الفسيولوجية التي تم تناولها في النقاط السابقة ،و يؤدي ذلك إلى تميز الرياضيين بالاقتصادية في عمليات التنفس سواء كان ذلك في حالة الراحة أو عند أداء الجهد البدني مقارنة بغيرهم

تاسعا : يؤدي تميز الرياضيين بكفاءة استغلال الأكسجين إلى تقليل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الدم لديهم و تقليل حموضة الدم بواسطة معادلة تركيز حمض اللاكتيك أو سرعة عمليات التخلص منه في العضلات و الدم مما يميز الرياضيين بتأخر وصولهم إلى التعب مقارنة بغير الرياضيين عند أداء المجهودات البدنية.

عاشرا: تزداد مطاطية الرئتين و قدرتها على التمدد و الانكماش لأداء حركات التنفس القوي و العميق نتيجة التكيف للأعباء التدريبية المتنوعة التي يواجهها الرياضيين .

6- الجهاز القلبي الوعائي (الجهاز الدوري):

هو الجهاز المسؤول عن توزيع المواد الغذائية المهضومة و الأكسجين إلى كل أجزاء الجسم ،ثم نقل المواد الناتجة عن عمليات الأكسدة إلى أماكن التخلص منها و هو يتكون من ثلاث أقسام هي :القلب و الدم و الأوعية الدموية :

6-1 القلب:

القلب هو مصدر الطاقة المسببة لحركة الدم في الأوعية الدموية ، وهو يقوم بعمله كمضخة يأتي إليه الدم من جميع أجزاء الجسم لكي يقوم بدفعه من خلال الأوعية الدموية مرة أخرى ، و هو عضو عضلي لا إرادي أجوف مخروطي الشكل(cone – shaped) يقع في منتصف التجويف الصدري بين الرئتين ، وقاعدته على منتصف الحجاب الحاجز (diaphragm) يزن حوالي 300 غ عند رجل بالغ و 250 غ عند الإناث ،طوله يتراوح بين 12 إلى 14 سم و عرض 9 سم و يبلغ سمكه 6 سم

الشكل رقم (1) يوضح الموقع التشريحي للقلب

و يتكون القلب تشريحيا من:

1-غلاف القلب (التامور)Pericardium و هو غلاف مغطى بغشاء ضام يتكون من طبقتين ، داخلية وخارجية يفصل بينهما سائل يمنعهما من الاحتكاك ويسمى بسائل التامور(Pericardial Fluid) ويتألف غلاف التامور من ثلاث طبقات هي:

-الطبقة الخارجية و تسمى إيكارديوم(Epicardium)

-الطبقة الجدارية الوسطى و تسمى (Myocardium)

-الطبقة الحشوية الداخلية وتسمى إندوكارديوم(Endocardium)

2- صمامات القلب Valves of the Heart

وهي أداة ميكانيكية تسمح بجريان الدم باتجاه واحد فقط توجد أربع أنواع من الصمامات لها أهمية في عمل القلب اثنان منها تسمى بالصمامات البطينية-الأذينية والتي تحرس الفتحات بين البطينين والأذينين. أما الاثنان الآخران فيقومان بحراسة الفتحات بين الشرايين الرئوية والبطين الأيمن وبين البطين الأيسر الأبهر.و هي كالآتي :

-الصمام التاجي(ثنائي الشرفات)Mitral valve

-الصمام ثلاثي الشرفات Tricuspid valve

-الصمام الأبهري (الاورطي)Aortic valve

-الصمام الرئوي الهلاليPulmonary valve

كذلك فإن الأوردة مزودة هي الأخرى بصمامات تسمح بمرور الدم باتجاه واحد وتمنع رجوعه بالاتجاه العكسي. وهذا يؤدي إلى أن يسير الدم دائماً في اتجاه واحد نحو الأمام مما يسمح له بمتابعة دورته عبر جميع أنحاء الجسم.

3-حجرات القلب :

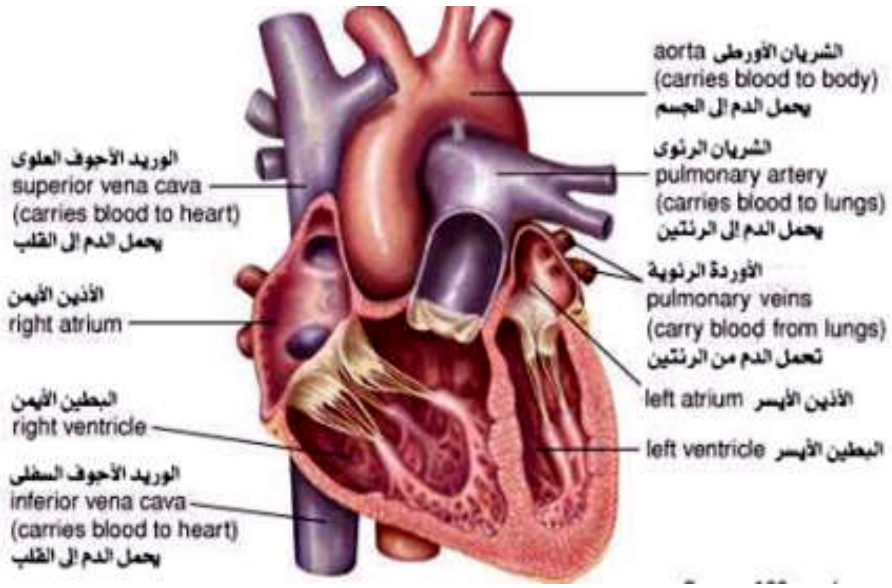
وينقسم القلب إلى أربع أقسام ، أذينين (2- Atria) و بطينين (2- Ventricles) وينقسم طوليا إلى نصفين ، نصف أيمن ونصف أيسر ، وفي الظروف الطبيعية لا يوجد اتصال بينهما ، ويحتوي الجزء الأيمن على الدم الوريدي ، والجزء الأيسر على الدم الشرياني ، وكل منهما ينقسم بواسطة صمام إلى جزء علوي يعرف بالأذينين ، وجزء سفلي يعرف بالبطينين

-الأذين الأيمن(Right Atrium)

-الأذين الأيسر(Left Atrium)

-البطين الأيمن(Right Ventricular)

-البطين الأيسر(Left Ventricula)



الشكل رقم (2) يوضح تشريح القلب

6-2- الدورة الدموية blood circulqtion

تمثل الدورة الدموية حركة الدم المستمرة في الجسم التي تنتقل من القلب إلى الأوعية الدموية التي تنقل الدم و توزعه على جميع أجزاء و أنسجة الجسم المختلفة ثم يعود الدم مرة أخرى إلى القلب ...و هكذا

و تنقسم الدورة الدموية إلى قسمين رئيسيين هما:

1- الدورة الجهازية: systemic circulation

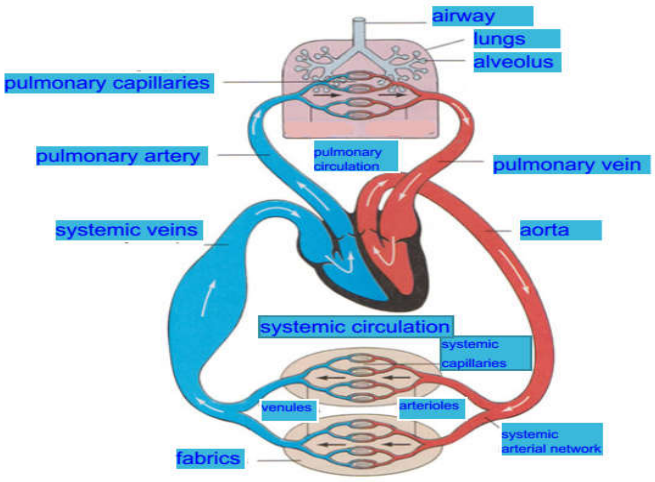
تعرف هذه الدورة باسم الدورة الدموية الكبرى creater circulation يقوم البطين الأيسر بضخ الدم المؤكسد إلى الشريان الأبهر فالشرايين المتفرعة وأخيرا إلى الشعيرات الدموي الطرفية حيث يقوم الدم بتقديم الأكسجين الذي يحمله إلى خلايا الجسم ويأخذ منها ثاني أكسيد الكربون ويتابع جريانه في الأوردة الطرفية الصغيرة والأوردة الكبيرة مثل الوريد الأجوف العلوي والسفلي حيث يصبان في الأذين الأيمن فالبطين الأيمن)وهو الشريان الوحيد الذي يحمل دم غير مؤكسد.)

2- الدورة الرئوية pulmonary circulation

وتعرف باسم الدورة الدموية الصغرى lesser circulation يقوم البطين الأيمن بضخ الدم الوريدي للشريان الرئوي وفروعه ثم للشريان الدموي ويتم طرح غاز أكسيد الكربون في الاسناخ واخذ الأكسجين وبهذا يصبح الدم مؤكسد ولونه احمر ويدخل الأوردة الرئوية)وهي الأوردة الوحيدة التي تنقل دم مؤكسد للأذين الأيسر فالبطين الأيسر حيث تبدأ الدورة العامة بضخ الدم الى جميع إنحاء الجسم عبر الشريان الأبهري.)

الدورة التاجية coronary circulation

هي دورة دموية قصيرة جدا و هي التي تغذي عضلة القلب ذاتها حيث تحتاج ألياف العضلة القلبية إلى كميات كافية من الدم الذي ينقل إليها الأكسجين و مواد الطاقة اللازمة للانقباض ،و تتم عبر شريانين ينشئان من جذر الأورطي عقب خروجه مباشرة من البطين الأيسر و يمران على جانبي القلب بما يمثل شكل التاج crown و لذا سميا بالشريانين التاجيين coronary arteries



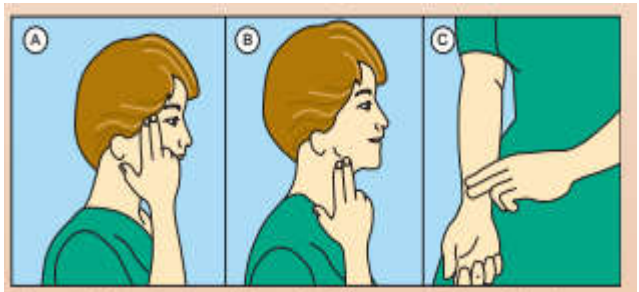
الشكل رقم (3) يوضح أنواع الدورات الدموية

7-1-استجابة الجهاز الدوري للجهد البدني:

بعد التطرق إلى الجهاز الدوري من الناحية التشريحية و الوظيفية نستطيع النظر إلى كيفية استجابة هذا النظام للتمرين أو الجهد البدني،إذ انه تحدث عديد من التغيرات تترافق مع عمليات احتياج العضلات إلى الأكسجين و الطاقة أثناء الجهد في كل من: معدل القلب في الراحة و أثناء التدريب و كذلك معدل القلب الأقصى ،حجم الضربة و الدفع القلبي.

7-1-1:معدل القلب heart rate

معدل ضربات القلب FC يعد واحدا من ابسط القياسات الدورية القلبية، ويستدل عليه بقياس معدل النبض , ويقاس معدل ضربات القلب بالسماعة الطبية، وقياس معدل النبض بقياسه في الموضع السباتي أو الكعبري، ومعدل النبض عادة يعكس مقدار عمل القلب الذي يجب أن يعمل به ليقابل المتطلبات المتزايدة للجسم أثناء بذل الجهد البدني؛ لأجل ذلك يجب أن نقارن معدل القلب في الراحة وأثناء التدريب



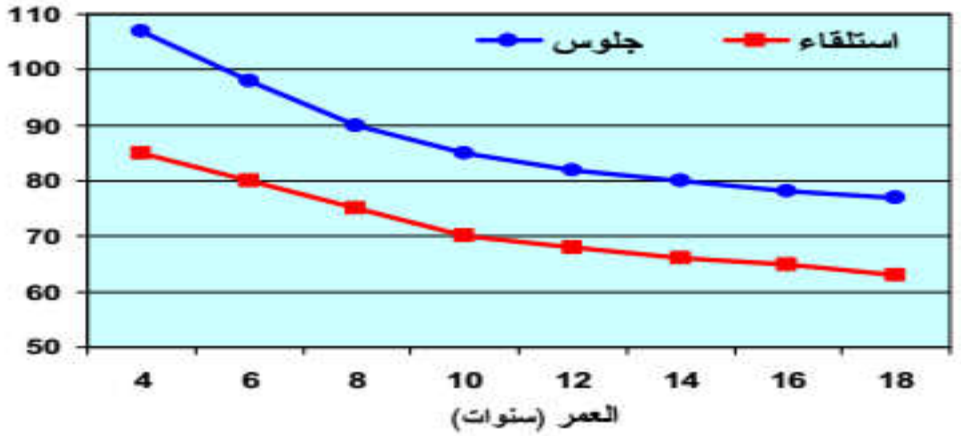
Three typical locations for palpating pulse: (A) temporal; (B) carotid; and (C) radial arteries.

(Reprinted with permission from Bickely, L.S. (2003). *Bate's Guide to Physical Examination and History Taking* 8th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.)

الشكل رقم (4) يوضح طرق قياس معدل القلب

7-1-2:معدل القلب في الراحة resting heart rate:

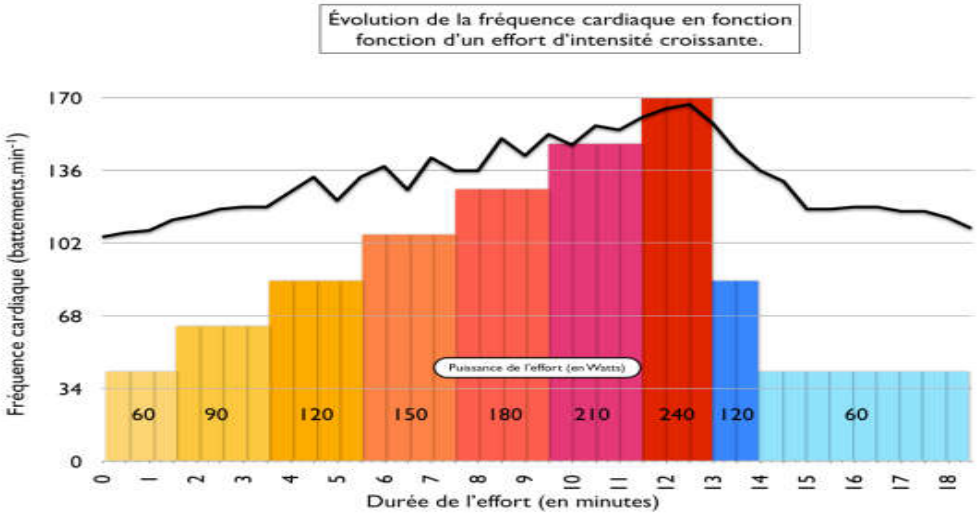
تبلغ ضربات القلب في الراحة أعلى مستوى لها لدى المولود حديثاً ثم تتناقص بالتدريج مع التقدم في العمر، فعلى سبيل المثال، يبلغ معدل ضربات القلب في الراحة لدى الطفل في عمر 4 سنوات من 100-110 ضربة في الدقيقة، ثم تنخفض تدريجياً مع التقدم في العمر لتصل إلى ما يعادل 70- 80 ضربة في الدقيقة لدى الشخص السليم غير الرياضي في العشرين من عمره. ويعني ذلك أن القلب يدفع كمية محددة من الدم تبلغ حوالي 60 ملي لتر للذكر البالغ المتوسط الحجم في كل ضربة من ضرباته. وبحساب مجمل عدد ضربات القلب في الراحة لدى الشخص السليم نجد أنها تتجاوز 100 ألف ضربة في اليوم الواحد)أي أكثر من 38 مليون ضربة في السنة. ويوضح الشكل البياني رقم (5)معدلات ضربات القلب في الراحة أثناء كل من الجلوس مقارنة بالاستلقاء (في الصباح الباكر قبل مغادرة الفراش **Basal rate**) لدى الأطفال من عمر 4 سنوات حتى سن الرشد ونظراً لأن عملية الاستلقاء تؤدي إلى زيادة الدم العائد إلى القلب (العائد الوريدي من الدم) بفعل انخفاض تأثير الجاذبية، الأمر الذي يزيد من حجم الضربة(حجم الدم الذي يضخه القلب في كل ضربة من ضرباته)، وبالتالي انخفاض معدل ضربات القلب أثناء الاستلقاء مقارنة مع الجلوس أو الوقوف



الشكل رقم (5) يوضح معدل ضربات القلب أثناء الجلوس و الاستلقاء تبعا للعمر

7-1-3:معدل القلب أثناء التمرين:heart rate during exercise

عند البدء في التدريب يزداد معدل القلب مباشرة، وترتبط نسبة الزيادة بشدة التدريب ، ويستدل على شدة التدريب بنسبة استهلاك الأكسجين وكلما ازداد معدل القلب ازداد معدل استهلاك الأكسجين، ويستخدم معدل القلب إثناء العمل على الارجوميتر للمقارنة بين الأفراد في مدى قدرتهم على العمل مع زيادة الشدة للتعرف على معدل القلب الأقصى.



الشكل رقم (6) يوضح معدل ضربات القلب أثناء التمرين

7-1-4:معدل القلب الأقصى:maximum heart rate

يعرفه عبد الفتاح و السيد 2003 بأنه أعلى معدل للقلب يمكن الوصول إليه عند أداء العمل البدني الأقصى حتى التعب،كما يشير الهزاع 2009 أن معدل ضربات القلب من المؤشرات المهمة التي يمكن الاستدلال بها على شدة العبء الملقى على الجسم

،أثناء الجهد البدني ،و ضربات القلب تتناسب طرديا مع الجهد البدني المبذول ،و يرى لمور و كوستل 2004 أن معدل ضربات القلب القصوى يصل إلى 200 نبضة /د لدى الشاب السليم في سن العشرين ،و أن معدل ضربات القلب القصوى يتأثر بالعمر و ينخفض بتقدمه بمعدل 10% كل عشر سنوات و ذلك ابتداء من الثلاثينيات من العمر،و يساهم التدريب البدني في التقليل من هذا الانخفاض ، معدل القلب الأقصى يعبر عن معدل النبض للقلب الموافق لوصول اللاعب إلى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين و يمكن تحديده وفقا لعدة معادلات كما في الجدول الآتي

الجدول رقم(01) يوضح بعض المعادلات الدالة على أقصى نبض للقلب

المعادلة الأولى	ضربات القلب القصوى =220-العمر(بالسنوات)
المعادلة الثانية	ضربات القلب القصوى=220-(0,65×العمر بالسنوات)
المعادلة الثالثة	ضربات القلب القصوى=200-(0,50×العمر بالسنوات)
المعادلة الرابعة	ضربات القلب القصوى :رجال:209-(0,86×العمر بالسنوات) نساء:207-(0,78×العمر بالسنوات)
المعادلة الخامسة	ضربات القلب القصوى=208-(0,7×العمر بالسنوات)
المعادلة السادسة	ضربات القلب القصوى=194,8-(0,504×العمر بالسنوات)

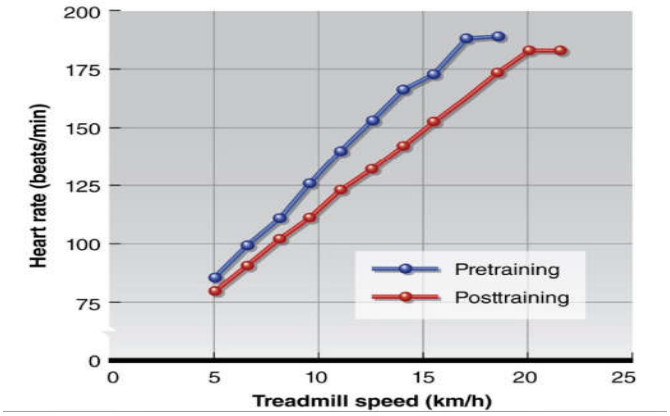
ويساعد على زيادة معدل القلب الأقصى أربعة عوامل:

1- حجم الدم الوريدي العائد للقلب.

2- السعة البطينية (الامتلاء)

3- الانقباض البطيني (تفريغ)

4-الضغط الشرياني الأورطي الرئوي.

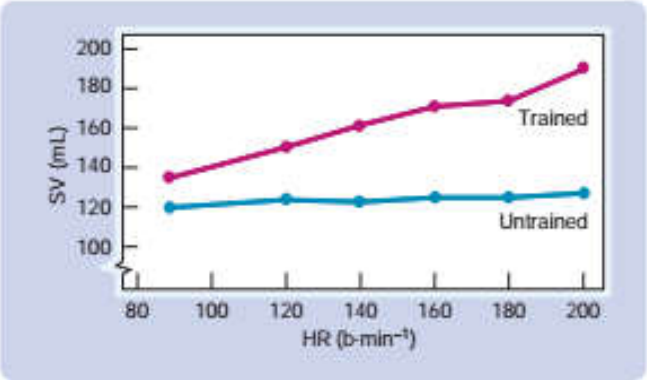


الشكل رقم (7) يوضح تكيف معدل ضربات القلب القصوى بعد التدريب

حيث إن العاملين الأول والثاني يؤثران في السعة الإمتلائية للبطينين، وبالتالي في كمية الدم المتوفرة لهما، بينما العاملان الثالث والرابع يؤثران في قدرة البطينين على تفريغ الدم، وعلى ذلك تكون العوامل الأربعة مجتمعة عوامل مساعدة في زيادة معدل القلب الأقصى، وكلما تحسنت تلك العوامل ازداد المعدل الأقصى، ومن ثم زادت كفاءة القلب

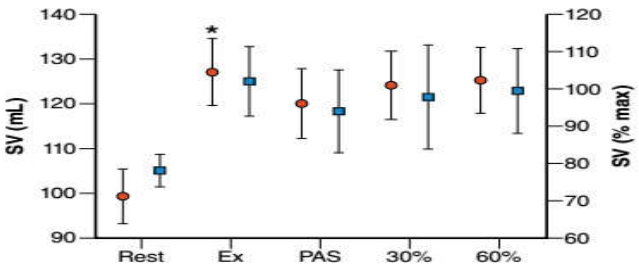
7-1-5:حجم الدفعة أثناء التمرين:Stroke volume increase with exercise

يعني حجم الدم المدفوع من القلب في كل ضربة من ضرباته، ويبلغ في الراحة لدى الشاب المتوسط الحجم غير المتدرب حوالي 60ملي لتر، ويرتفع في الجهد البدني المرتفع الشدة ليبلغ 100-110ملي لتر، أما لدى الشخص الرياضي فيبلغ حجم الضربة في الراحة حوالي 80ملي لتر، ويزداد



الشكل رقم (8) يوضح استجابة حجم الدفعة للرياضي و غير الرياضي

في الجهد البدني الأقصى إلى أن يصل حوالي 150-160ملي لتر، وقد يبلغ 200ملي لتر لدى بعض الرياضيين المتميزين. ويرتبط حجم الضربة إلى حد ما بحجم القلب الذي يعتمد بدوره على مساحة سطح الجسم. ومن المعلوم أن حجم الضربة يتأثر بوضع الجسم سواء في الراحة أو في الجهد البدني، فالحجم أثناء الوقوف أو الجلوس يعد أقل منه في حالة الاستلقاء وذلك ناتجاً من زيادة العائد الوريدي أثناء الاستلقاء، مما يجعل القلب قادراً على دفع



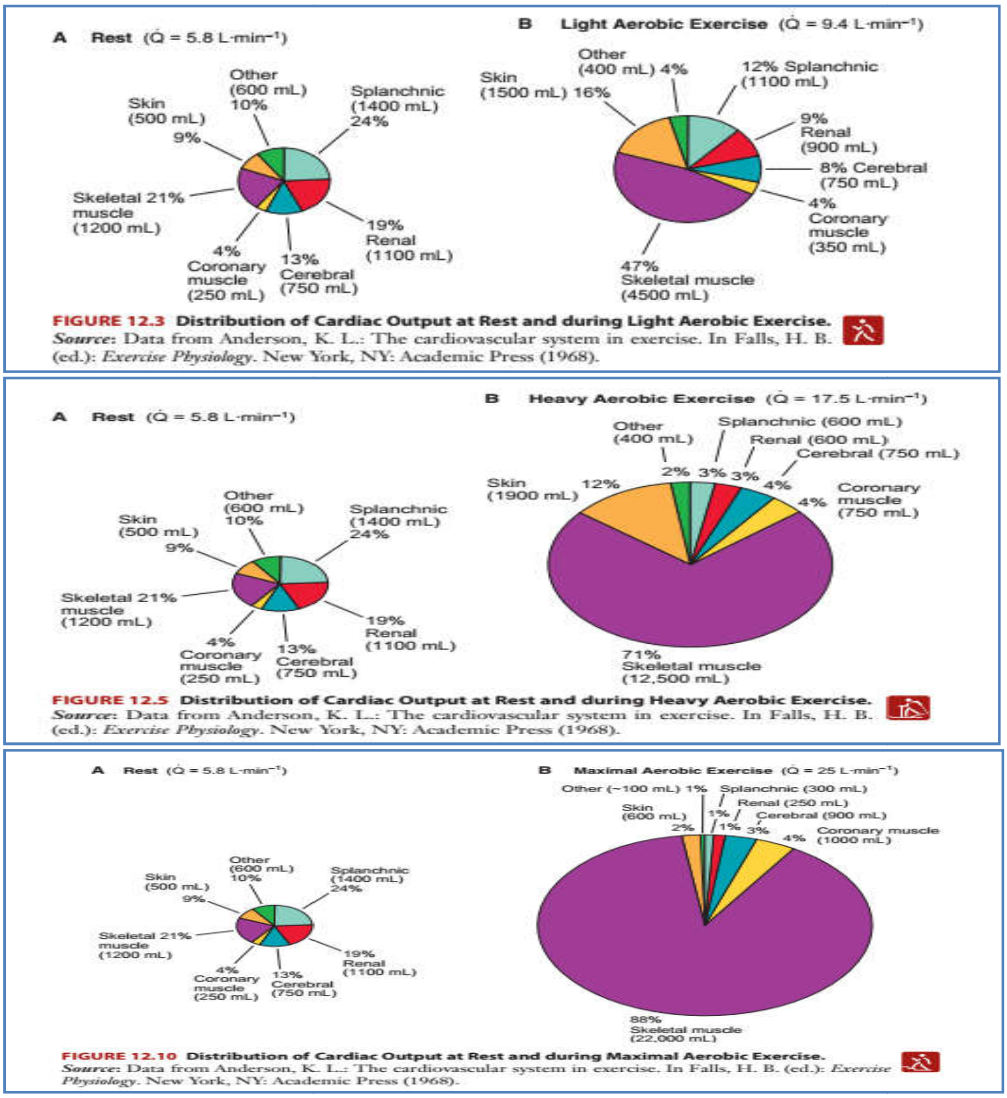
الشكل رقم (9) يوضح الفرق بين حجم الدفع القلبي عند شدد مختلفة للجهد

الكمية نفسها من نتاج القلب بمعدل أقل من ضربات القلب، كما يتأثر حجم الضربة بمقدار العضلات المشاركة أثناء الجهد البدني، ففي الجهد البدني الذي تستخدمه فيه عضلات كبرى من الجسم كما في الجري يكون مقدار حجم الضربة أعلى مما هو أثناء استخدام كتلة عضلية صغرى كما في حال استخدام مجهاد اليدين.

7-1-6:الدفع القلبي cardiac output

الدفع القلبي هو كمية الدم التي يضخها القلب في الدقيقة الواحدة باللتر أو المليلتر " ويتراوح عادة حجم الدفع القلبي ما بين (5 – 6لتر) ويعتمد الدفع القلبي أيضا على مقدار الدم الوريدي العائد إلى القلب من جميع أجزاء الجسم المختلفة ، فكلما زاد العائد الوريدي للقلب زاد الدفع القلبي كما يحدث أثناء النشاط الرياضي ، وتؤكد الدراسات العلمية على أن الناتج القلبي لا يتغير خلال فترات الراحة ، بينما يزيد الناتج القلبي عند ممارسة النشاط الرياضي وخاصة النشاط التحملي ، وذلك كنتيجة لزيادة حجم الضربة وعدد ضربات القلب ، وإن هناك اختلاف في نسب توزيع الناتج القلبي على أجهزة الجسم الرئيسية أثناء فترات الراحة و الجهد البدني كما يوضحه الشكل 10

عرفنا فيما سبق أن حجم نتاج القلب، وهو الكمية التي يضخها القلب باللتر في الدقيقة وفي الأحوال الاعتيادية فإن حوالي نصف حجم نتاج القلب في الراحة يذهب إلى الأحشاء)الجهاز الهضمي والكليتين(، بينما يذهب حوالي21 %من حجم نتاج القلب إلى العضلات، التي تمثل حوالي40 %من وزن الجسم. لكن الصورة تتغير كثيراً أثناء الجهد البدني، حيث يتم تحويلي88 %من حجم نتاج القلب إلى العضلات العاملة أثناء الجهد البدني الأقصى ومن المعروف أنه يتم تحويل الدم الصادر من القلب إلى أنسجة الجسم المختلفة تبعاً لحاجة كل جهاز من أجهزة الجسم المختلفة. ويتم ذلك ليس عن طريق زيادة حجم نتاج القلب فحسب، بل أيضاً من خلال تقلص أو تمدد الأوعية الدموية الشُرينية(**Arterioles**)في مناطق عدة من الجسم، بناءا على تنبيه محلي (أيضي) أو مركزي (عصبي) لهذا نلاحظ أثناء الجهد البدني، وخاصة المرتفع الشدة، أن الأوعية الدموية الموجودة في الأحشاء تتقلص وبالتالي يتحول الدم إلى العضلات العاملة. والجدير بالإشارة إلى أن الكمية المطلقة من الدم التي تذهب إلى عضلة القلب تزداد مع زيادة شدة الجهد البدني، لكنها تبقى ثابتة كنسبة من نتاج القلب عند حوالي 4%،سواء كان ذلك في



الشكل رقم (10)يوضح نسب توزيع الناتج القلب على أجهزة الجسم الرئيسية عند شدد مختلفة

الراحة أو في الجهد البدني. ومن المعلوم أن كمية الدم التي تتجه إلى الجهاز الهضمي (الكبد والمعدة والأمعاء) تزداد بعد تناول وجبة من الطعام خاصة الغنية بالسعرات الحرارية. وتشير نتائج الدراسات التي أجريت بغرض معرفة معدل توزيع الدم على أنسجة الجسم المختلفة أثناء الجهد البدني وبعد تناول الطعام مباشرة، إلى أن نسبة من الدم أكبر من المعتاد يتم توجيهها إلى الجهاز الهضمي، وبالتالي ينخفض حجم الدم المتجه إلى العضلات العاملة. ومن هذا المنطلق، فلا يستحسن القيام بأداء جهداً بدنياً عنيفاً بعد تناول وجبة غنية بالسعرات الحرارية، لأن ذلك يؤثر على مستوى الأداء البدني، بسبب توجه كمية من نتاج القلب إلى الجهاز الهضمي على حساب العضلات العاملة.

7-2: كيفية قياس حجم نتاج القلب :

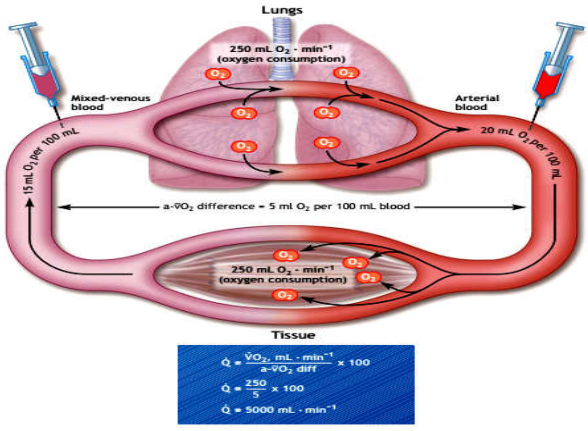
الحجم الكلي للدم الذي يتم ضخه بواسطة البطين الأيسر بالدقيقة ،وهو حاصل ضرب معدل ضربات القلب (FC)مع حجم الدفعة(SV) أثناء الراحة.

$$QE=FC*SV$$

هناك طريقتين لقياس حجم نتاج القلب و هما الطريقة التوسعية(invasive) بواسطة معادلة فك،أو استخدام السبغة الملونة،و منها غير التوسعي كاستخدام طريقة اعادة استنشاق ثاني أكسيد الكربون .

7-2-1: قياس نتاج القلب بواسطة معادلة فك (fick equation):

يمكن قياس نتاج القلب بطريقة مباشرة باستخدام معادلة فك، وهي معادلة مبنية على معرفة كمية الدم التي يضخها القلب في الدقيقة مقدار ما تستخلصه أجهزة الجسم من الأكسجين، ومن أجل القيام بذلك يتطلب الأمر معرفتنا بمحتوى كل من الدم الشرياني والوريدي من الأكسجين، كما يلزمنا أيضاً أن نعرف معدل استهلاك الأكسجين، شريطة أن يكون ذلك في حالة استقرار،فمثلاً عندما يكون محتوى الدم الشرياني من الأكسجين في حالة الراحة يساوي 200ملي لتر في كل لتر من الدم، ومحتوى الدم الوريدي من الأكسجين يعادل 150ملي لتر في كل لتر من الدم، فيكون الفرق في تركيز الأكسجين بين محتوى الدم الشرياني ومحتوى الدم الوريدي والمسمى الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين (DAV-O2 différence artério-veineuse en O2 يساوي 50 ملي لتر من الأكسجين في كل لتر دم، وعليه يمكن لنا حساب نتاج القلب في الراحة باستخدام معادلة فك على النحو المبين أدناه،



الشكل رقم (11)ة يوضح مبدأ معادلة fick

علماً بأن معدل استهلاك الأكسجين في الراحة لشخص متوسط الحجم يساوي 250ملي لتر في الدقيقة :

نتاج القلب (لتر/دقيقة) = استهلاك الأكسجين (ملي لتر/دقيقة) ÷ الفرق الوريدي الشرياني للأكسجين (ملي/لتر) =

250÷50 =5 ل/د

7-2-2: قياس نتاج القلب بواسطة الصبغة الملونة أو(المشعة):

يتطلب هذا الإجراء حقن صبغة ملونة أو مادة مشعة في الجسم عن طريق الوريد ثم الانتظار حتى تختلط هذه الصبغة بالدم الشرياني، ومن ثم أخذ عينات من الدم الشرياني على فترات متفاوتة وقياس تركيز المادة الملونة أو المشعة فيها، ومن خلال معرفة كمية المادة الملونة المحقونة في الوريد، وتركيز المادة الملونة في العينات المأخوذة من الدم الشرياني، يمكن حساب حجم نتاج القلب في الدقيقة.

7-2-3: قياس نتاج القلب بواسطة إعادة استنشاق ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

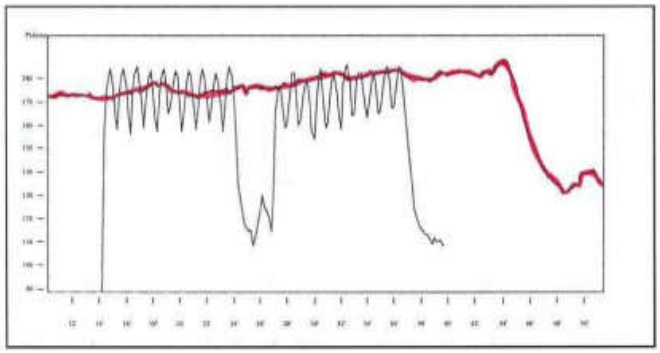
تتميز هذه الطريقة بأنها إجراء (غير توسعي)أي لا تتطلب استخدام الإبرة أو أخذ عينة من الدم، وهذه الطريقة تعتمد على استنشاق تركيز محدد من غاز ثاني أكسيد الكربون ثم معرفة تركيزه في الدم الشرياني والوريدي، ومن ثم حساب حجم نتاج القلب بمعادلة مشابهة لمعادلة فك، لكن باستبدال استهلاك الأكسجين بإنتاج ثاني أكسيد الكربون، وذلك على النحو التالي:

نتاج القلب (لتر/د)=انتاج ثاني أكسيد الكربون في هواء الزفير (ملل/د)÷ الفرق الشرياني الوريدي

لثاني أكسيد الكربون (ملل/د)

7-3:استجابة معدل القلب لنوع التدريب:

يختلف معدل نبض القلب أثناء التدريب التبادلي عنه في التدريب المستمر حيث أنه يبلغ أقصاه بشكل دال و أكثر ارتفاعا مقارنة بالتدريب المستمر ،و ذلك نظرا لفترات الراحة البينية المتوفرة في التمرين

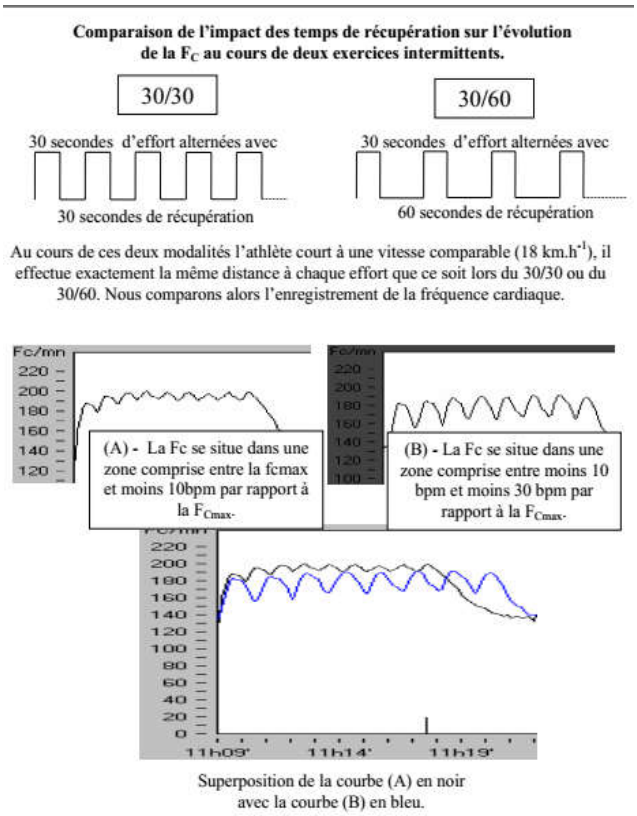


شكل رقم (12) يوضح استجابة معدل نبض القلب للجهد المستمر و التبادلي

التبادلي،مما جعله يصنف كجهد بدني تحملي.

أما فيما يخص الفرق في تأثير التدريب التبادلي مقارنة بالتدريب الفتري فان معدل نبض القلب لا يعيد الانخفاض أكثر من 10 إلى 15 نبضة /د بعد كل جهد،فيما ينخفض بين 20 إلى 40 نبضة/د في التدريب الفتري.

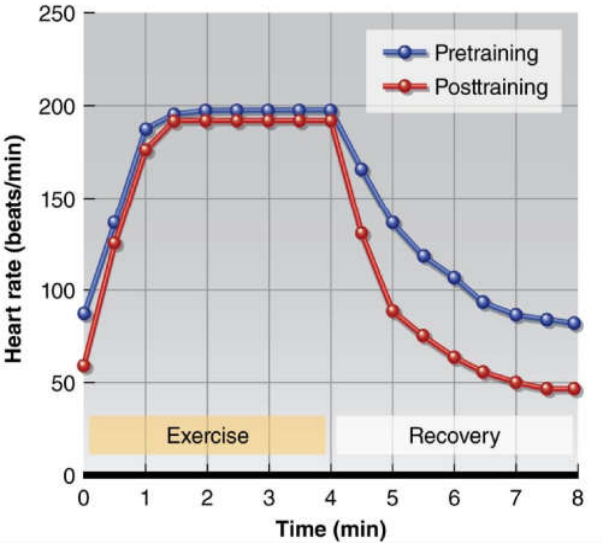
و من خلال الشكل (13)الذي يعبر عن الفرق بين جهدين تبادليين لنفس الرياضي بشدة 18كم/سا و لنفس المسافة في تأثيرهما على معدل نبض القلب نلاحظ أنه ينحصر بين نبض القلب الأقصى (fcmax) و – 10 ن/د في الجهد 30/30 بينما تنحصر بين (fcmax) و –(10الى 30 ن/د) ،و منه فان معدل نبضات القلب ينخفض أكثر في الجهد 30/30 و يحافظ على مستوى مرتفع من الجهد 60/30



الشكل رقم (13) يوضح عن الفرق بين جهدين تبادليين لنفس الرياضي

7-4:تأثير التدريب على استشفاء معدل القلب

عندما ينتهي التدريب فان معدل القلب لا يعود مباشرة إلى الحالة الطبيعية ولكنه يعود رويدا رويدا ويستغرق ذلك بعض الوقت حتى يصل إلى معدله أثناء الراحة. والوقت الذي يستغرقه القلب لكي يعود إلى حالته الطبيعية يسمى استشفاء معدل القلب la fréquence cardiaque de repos ونظرا لان طول أو قصر تلك الفترة يعتبر عاملا مؤثرا



الشكل رقم (14) يوضح تأثير التدريب على استشفاء معدل القلب

في الحكم على حالة القلب فان هذا مقياس يستخدم كمؤشر على لياقة الجهاز الدوري التنفسي, وعلى أية حال فالفرد الأكثر لياقة يعود إلى حالته الطبيعية أسرع ورغم ذلك هناك عوامل تزيد من فترة الاستشفاء حتى لدى الرياضيين أنفسهم مثل البيئة الحارة والمرتفعات , كما أن تتبع فترة الاستشفاء تعتبر وسيلة جيدة للتعرف على تقدم الفرد في التدريب.

7-5:طرق تحديد حمل التدريب عن طريق نبض القلب:

7-5-1:طريقة أقصى معدل للنبض (FCMAX):يتم الحصول على النبض المستهدف من خلال معرفة أقصى معدل لضربات القلب =220- العمر الزمني ،و بعدها يتم التعويض في المعادلة :

النبض المستهدف=نبض الراحة + الشدة المطلوبة (أقصى نبض – نبض الراحة) مثال:

أقصى معدل لضربات القلب =220 -20 = 200 ض/د

النبض المستهدف = 60+(100/80)×(200-60) = 172 ض/د

7-5-2:طريقة كارفونين

توصل كارفونين من خلال احتساب احتياطي أقصى معدل لضربات القلب و هو الفارق بين أقصى معدل لضربات القلب في وقت الراحة و أقصى معدل أثناء المجهود البدني مثال:

لاعب أقصى معدل لنبضه أثناء المجهود = 203 ن/د و أقصى معدل له في وقت الراحة = 63 ن /د

احتياطي أقصى معدل لضربات القلب = 203-63 = 140 ن/د

و من هنا يمكن الحصول على ضربات القلب المناسبة للنسبة المستهدفة من ضربات القلب ،فاذا كانت النسبة المستهدفة هي 80 % من أقصى معدل لضربات القلب فان:

النبض المستهدف= احتياطي أقصى معدل نبض × النسبة المئوية لمعدل النبض المستهدف+ أقصى معدل للنبض أثناء الراحة

نبض المستهدف= 140× (100/80) + 63 = 185 ن/د

8-1:التحمل اللاهوائي:

و معنى التحمل اللاهوائي قدرة العضلة على العمل العضلي لأطول فترة ممكنة في إطار إنتاج الطاقة اللاهوائية،و يتطلب هذا النوع من التحمل كفاءة في قدرة العضلة على تحمل نقص الأوكسجين و زيادة قدرتها على استخدام نظم الطاقة اللاهوائية و تحمل زيادة حامض اللاكتيك،و لذا فان التحمل اللاهوائي يتم من خلال تأخير ظهور التعب بثلاث طرق هامة هي كما يلي:

1- تقليل معدل تجمع حامض اللاكتيك

2- زيادة التخلص من اللاكتيك في العضلات العامة.

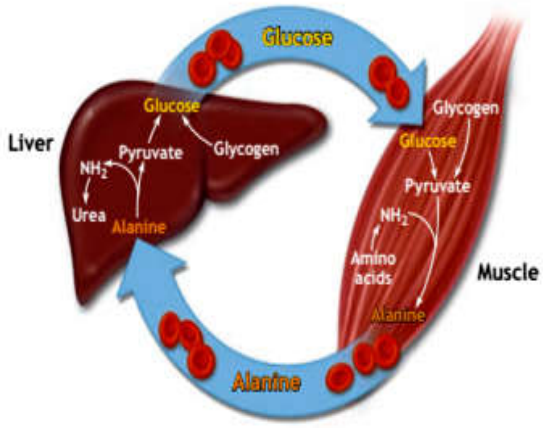
3- زيادة تحمل اللاكتيك.

أ- تقليل معدل تجمع حامض اللاكتيك:

يمكن تقليل تجمع حامض اللاكتيك عن طريق تقليل معدل إنتاجه في العضلات مع زيادة معدل التخلص منه في نفس الوقت في هذه العضلات،و تعلل إنتاج حامض اللاكتيك أثناء النشاط البدني عند زيادة استهلاك الأوكسجين و عند ذلك تتم أكسدة كميات أكبر من أيون الهيدروجين و حامض البيروفيك الناتجة عن التمثيل الغذائي اللاهوائي تتحول داخل الميتوكوندريا إلى ثاني أكسيد الكربون و ماء،أما في حالة عدم كفاية الأكسجين فان البيروفيك و أيون الهيدروجين يتحدان لتكوين حامض اللاكتيك،كما يمكن إزالة بعض البيروفيك من العضلات العامة عند اتحادها مع الأمونيا لتكوين الألانين Alanin و هو عبارة عن حامض أميني Amino acid يمكنه الانتشار في الدم ثم التحول إلى جلوكوز في الكبد.

و قد لوحظ زيادة الألانين في عضلات الحيوانات كما لاحظ بعض الباحثين زيادة في الدم لدى الإنسان أثناء أداء النشاط البدني.

و زيادة معدل تحول البيروفيك إلى الألانين هو العامل الرئيسي لتأخير ظهور التعب الناتج عن زيادة تركيز اللاكتيك أثناء النشاط البدني،و قد قدر(فليجو وارن 1971) هذه العملية بإمكانية تقليل حامض اللاكتيك بنسبة 35%-60% من



الشكل رقم (1) يوضح دورة غلوكوز-ألانين

الأشخاص المدربين،حيث لاحظ الباحثين أن إنتاج الألانين يزيد بمقدار 50%في العضلات الإرادية للطرف السفلي عند أداء نشاط بدني ذي شدة مرتفعة،و عموما فان أي تدريب رياضي يؤدي إلى زيادة القدرة على استهلاك الأوكسجين فانه بالتالي يؤدي إلى تقليل إنتاج حامض اللاكتيك،كما أنه قد يؤدي أيضا إلى تحويل البيروفيك إلى الألانين.

ب- زيادة التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات:

ينتشر حامض اللاكتيك من الخلايا العضلية إلى الدم أو إلى الفراغات خارج الخلايا faltacel Luar spaces و ثم انتشار بعض الحامض في خلايا الألياف العضلية الأخرى غير العاملة و ذلك لاستهلاكه كمصدر للطاقة،كما يتم دفع جزء آخر منه إلى الدم حتى يتم نقله إلى القلب و الكبد فيستهلكه القلب بينما يقوم الكبد بتحويله إلى جليكوجين و بالتالي فان زيادة تخلص العضلة من حامض اللاكتيك يؤدي إلى تخفيض درجة (PH) لعضلة متسببة في حدوث التعب،و نظرا لحداثة فكرة زيادة التخلص من حامض اللاكتيك في العضلة،و على الرغم من أهمية هذه العملية،إلا أنه لا توجد حقائق مؤكدة في إمكانية استخدام التدريب الرياضي بهدف كفاءة العضلة في ذلك و أي طرق التدريب يمكن استخدامها لتحقيق هذا الهدف؟و عموما فان ليس من الصعب افتراض أن التدريب الرياضي سوف يزيد من معدل التخلص من حامض اللاكتيك في العضلة،فقد ثبت زيادة الإنزيمات المسئولة عن التنظيم الغذائي لحامض اللاكتيك في العضلات و الأعضاء الأخرى نتيجة التدريب الرياضي.

و يساعد الجهاز الدوري من التخلص من حامض اللاكتيك عن طريق زيادة توصيل الدم إلى العضلات العاملة نتيجة لزيادة الدفع القلبي و كثافة الشعيرات الدموية و توزيع سريان الدم،و كل ذلك يعمل على سريان الدم خلال العضلات لفترة زمنية معينة مما يسمح بزيادة انتشار اللاكتيك منها إلى الدم الذي يقوم بنقله إلى القلب و الكبد و العضلات الأخرى غير العاملة،و قد دلت دراسة(دولكبلر و كينل Dollkeppler and kenl،1972) على أن الرياضيين أصحاب القلوب الكبيرة (كبيرة الحجم) تكون فرصتهم أفضل في إزالة حامض اللاكتيك من الدم نتيجة قيام الألياف العضلية للقلب باستهلاك هذا الحامض،و بذلك يقلل مستوى تركيزه في الدم ، و عادة يزيد حجم القلب بواسطة التدريب الرياضي،و هذا يؤكد أهمية التحمل العام للاعبي المسافات القصيرة و السرعة و يساعد نشاط إنزيم Lactate De-Hydrogenate (LDH) في التمثيل الغذائي لحامض اللاكتيك ، و لذلك فان أي زيادة في نشاط هذا الإنزيم يصاحبها زيادة في التخلص من اللاكتيك.

ج- زيادة تحمل اللاكتيك:

عندما يزيد تجمع اللاكتيك في العضلة و تحدث الحمضية Acidosis يشعر اللاعب بالألم،و عند ذلك يستطيع اللاعب المدرب على تحمل هذا الألم و الاستمرار في الأداء مع تحمل زيادة تجمع حامض اللاكتيك و الاحتفاظ بمستوى عال من سرعة الأداء الحركي و يتم ذلك من خلال تحسين سعة المنظمات الحيوية Buffering Capacity و زيادة تحمل الألم و ينعكس تحسن سعة المنظمات الحيوية في المحافظة على مستوى (PH) ضد زيادة الحمضية،و قد دلت دراسات كثيرة على إمكانية تحسن سعة المنظمات الحيوية عن طريق التدريب الرياضي،في حين لم تذكر المراجع الفسيولوجية الكثير عن عامل تحمل الألم،و لكن الجدير بالذكر أن الدوافع التي يستخدمها المدرب لزيادة فاعلية اللاعبين في أداء التدريبات اللاهوائية تساعد كثيرا في تنمية عامل تحمل الألم. و يمكن قياس التحمل اللاهوائي باستخدام بعض الطرق الميدانية التي يمكن أن يقوم بها المدرب في الملعب مثل أداء تمرين

الجلوس على الأربع من الوقوف.و تمرين الشد على العقلة،و تمرين ثني الذراعين من الانبطاح المائل أو ثني الذراعين من الوقوف من الارتكاز على المتوازي بالذراعين و في جميع هذه التمرينات يتم حساب أقصى عدد من التكرارات في أقل زمن ممكن.

د- طرق التخلص من حامض اللاكتيك:

يتم التخلص من حمض اللاكتيك بواسطة أربع طرق رئيسية هي:

1-خروج حامض اللاكتيك مع البول و العرق و يتم بدرجة طفيفة جدا.

2-تحول حامض اللاكتيك إلى جلوكوز أو جليكوجين و يحدث ذلك في الكبد حيث يتحول حامض اللاكتيك إلى جليكوجين للمساعدة في الإمداد بالطاقة مع ملاحظة أن عملية تحويل اللاكتيك إلى جليكوجين تتم بصورة بطيئة بالمقارنة بعملية التخلص منه و لذا فان الكمية التي يتم تحويلها تمثل جزءا بسيطا من الكمية الكلية لحامض اللاكتيك.

3-تحول حامض اللاكتيك إلى بروتين و يمكن تحويل كمية قليلة جدا من حامض اللاكتيك إلى بروتين مباشرة في الفترة الأولى للاستشفاء بعد التدريب.

4-أكسدة حامض اللاكتيك:تتم عملية أكسدة حامض اللاكتيك لتحويله إلى ثاني أكسيد الكربون و الماء لاستخدامه كوقود في نظام إنتاج الطاقة الهوائي و يتم معظم ذلك بواسطة العضلات الهيكلية إلا أن أنسجة عضلة القلب مع المخ و الكبد و الكلى تشترك أيضا في هذه الوظيفة.

ففي وجود الأكسجين يتحول حامض اللاكتيك أولا إلى حامض البيروفيك ثم إلى ثاني أكسيد الكربون و الماء من خلال دائرة كربس و نظام النقل الالكتروني على التوالي و هذا يمثل الجزء الأكبر للتخلص من حامض اللاكتيك.

و بالنسبة لسرعة التخلص من حامض اللاكتيك فقد دلت الدراسات أن فترة ساعة واحدة تكفي لإزالة معظم حامض اللاكتيك،و يتطلب التخلص من نصف مقدار حامض اللاكتيك المجتمع بعد التدريبات ذات الشدة القصوى فترة زمنية في حدود 25 دقيقة و يعني ذلك أن التخلص من 95% من حامض اللاكتيك يتم خلال ساعة و ربع بعد أداء التدريب ذات الشدة القصوى بينما يقل الزمن عن ذلك في حالة انخفاض شدة أداء التدريبات ،و من العوامل التي تزيد من سرعة التخلص من حامض اللاكتيك أداء تمرينات بدنية خفيفة خلال فترة الاستشفاء و تسمى ب"تمرينات التهدئة"أو "تمرينات الإستشفاء" ووجد أن أفضل شدة لأداء هذه التمرينات حينما تكون عند 50-60% من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين كما أن ذلك يرتبط بمستوى الحالة التدريبية للاعبين و يجب ملاحظة أن زيادة أو نقص شدة التهيئة عن المستوى المناسب يؤدي إلى بطء عملية التخلص من حامض اللاكتيك.

8-2:الدين الأكسجيني :

الأوكسجين الإضافي الذي يجب أن يدخل إلى الجسم بعد أداء التمرينات القاسية لإعادة كافة أجهزة الجسم إلى حالتها الطبيعية يسمى " **بالدين الأكسوجيني**".

والدين الأكسجيني يعني أيضا كمية الأكسجين المستهلكة أثناء فترة الاسترداد بما يزيد على معدل الاستهلاك في الراحة ومن الملاحظ أنه كلما كان الجهد البدني عنيفا كان كل من العجز الأكسجيني والدين الأكسجيني مرتفعا.

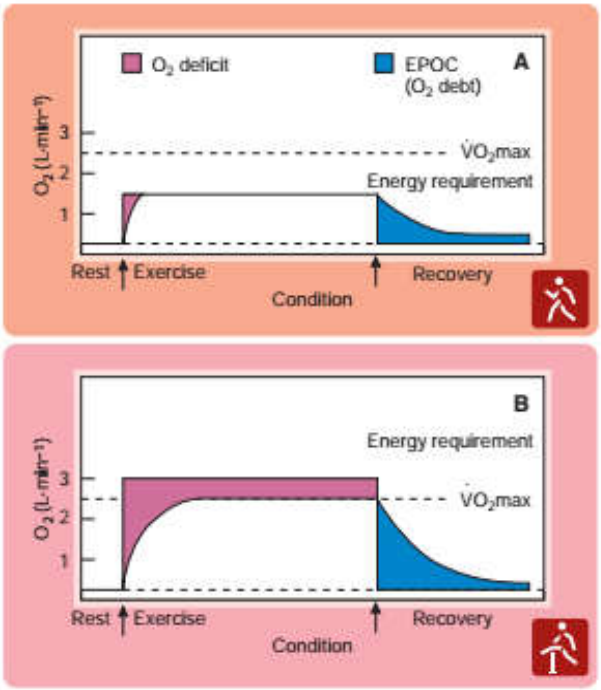
في بداية لا يمكننا الفصل بين مصطلحين مهمين هما العجز الأكسوجيني والدين الأكسوجيني فكل منهما مرتبط بالآخر ارتباط وثيق، حيث لا يمكن أن يحدث الدين الأكسوجيني إلا بعد مرحلة العجز الأكسوجيني.

حيث أن الجهد البدني يكون فيه استهلاك الأكسوجين من قبل الجسم في مستوى أقل مما تتطلبه العضلات من الأكسوجين بغرض إنتاج الطاقة اللازمة للجهد البدني، أي أن ما يستطيع الجسم توفيره من الأكسوجين للعضلات العاملة أقل من احتياجها الفعلي له، الأمر الذي يولد ما يسمى بالعجز الأكسوجيني والملاحظ عندما تكون شدة الجهد البدني عالية، وبالتالي كان الطلب على الأكسوجين من قبل العضلات العاملة عاليا كان العجز الأكسوجيني أشد وعند تمعننا في منحنى استهلاك الأكسوجين أثناء الجهد البدني المعتدل الشدة. نلاحظ أن معدل استهلاك الأكسوجين يزداد بالتدريج حتى الوصول إلى مرحلة الاستقرار، عندها يكون معدل استهلاك الأكسوجين يوازي معدل استخدامه من قبل العضلات العاملة، وبالتالي نلاحظ تقلص العجز الأكسوجيني شيئا فشيئا أما عند القيام بجهد بدني مرتفع الشدة فوق مستوى العتبة اللاهوائية فأن استهلاك الأكسوجين يزداد بالتدريج أيضا حتى الوصول إلى التعب العضلي، بدون حدوث حالة استقرار لمعدل استهلاك الأكسوجين أما بعد التوقف عن الجهد البدني، فالملاحظ أيضا أن معدل استهلاك الأكسوجين لا يعود إلى مستوى الراحة مباشرة، بل يستغرق وقتا يقصر أو يطول حتى الوصول إلى مستواه في حالة الراحة.

ويعتمد ذلك الوقت على شدة الجهد البدني المبذول واللياقة البدنية للشخص إن مجموع حجم استهلاك الأكسوجين أثناء فترة الاسترداد من الجهد البدني الذي يزيد على معدل استهلاك الأكسوجين في الراحة يسمى بالدين الأكسوجيني ، وهذه التسمية هي في الواقع تسمية قديمة، ويفضل بعض المختصين تسميته باستهلاك الأكسوجين في فترة الاسترداد الزائد عن مستوى الاستهلاك في الراحة (Excess post-exercise O2 consumption) و الذي يرمز له اختصارا (EPOC) وعند القيام بجهد بدني مرتفع الشدة فإن مقدار الدين الأكسوجيني يصبح اكبر مما هو بعد الجهد البدني المعتدل الشدة

8-3:العجز الأكسجيني:

عرفنا مما سبق أن العجز الأكسجيني يمثل الفرق بين ما يتطلبه الجهد البدني من أكسجين وما يستطيع الجسم توفيره من الأكسجين، ويتم تغطية العجز الاكسجيني من عدة مصادر لا تعتمد على أخذ الأكسجين من قبل الرئتين ومن ثم نقله عبر الجهاز الدوري إلى العضلات العاملة، وتشمل تلك المصادر أنظمة الطاقة اللاهوائية والمخزون الأوكسجيني في الدم والعضلات والمعروف أن العجز الأكسجيني يزداد كلما كان الجهد البدني عنيفا وقريبا من طاقة الفرد القصوى وتتمثل المصادر التي تشارك في تغطية العجز الأوكسجيني في التالي:



الشكل رقم (2) يوضح الدين و العجز الأوكسجيني لجهد بدني أقل من أقصى(b) و فوق الأقصى (A)

- أدينوسين ثلاثي الفوسفات المخزن في العضلات.
- فوسفات الكرياتين.
- التحلل اللاهوائي للجليكوجين والجلوكوز المنتهيان بحمض اللاكتيك
- الأكسجين الملتصق بالميوجلوبين وهو يشبه الهيموجلوبين لكنه في العضلات بدلا من الدم
- الأكسجين الذائب في سوائل أنسجة الجسم

9- التحمل الهوائي:

هو القدرة على العمل باستخدام مجموعات كبيرة من العضلات لفترات طويلة و بمستوى متوسط،ويحبذ بعض العلماء و خاصة علماء التربية الرياضية بالولايات المتحدة الأمريكية استخدام مصطلح"التحمل الدوري التنفسي" بدلا من التحمل العام، نظرا لأن هذا النوع من التحمل يرتبط ارتباطا وثيقا بدرجة مستوى الجهازين الدوري و التنفسي،إذ يتوقف عليهما عملية نقل الأكسجين و الوقود (الغذاء) إلى العضلات حتى يمكنها الاستمرار في العمل لفترات طويلة. ،حيث يشير أبو العلا أحمد عبد الفتاح و أحمد نصر الدين رضوان 2003 أن التحمل الدوري التنفسي هو ما يطلق علية من الوجه الفسيولوجي **التحمل الهوائي** نسبة لاعتماد العمل العضلي على الأكسجين لإنتاج الطاقة و يرتبط التحمل الهوائي للعضلة بقدرتها على الاستمرار في العمل العضلي لأطول فترة ممكنة اعتمادا على إنتاج الطاقة الهوائية،و الألياف العضلية البطيئة هي المسئولة عن الأداء العضلي لفترة طويلة و ترجع كفاءة الألياف العضلية البطيئة في التمثيل الغذائي الهوائي للأسباب التالية:

- تحتوي على كمية كبيرة من الميوجلوبين.
- زيادة الميتاكوندريا مع زيادة الإنزيمات المساعدة على التمثيل الغذائي الهوائي.
- تحتوي الألياف البطيئة على عدد أكبر من الشعيرات الدموية مما يسمح بزيادة انتشار الأكسجين و سرعة التخلص من فضلات التمثيل الغذائي.
- تحتوي الألياف البطيئة على دهون أكثر و زيادة في الإنزيمات المساعدة على أكسدتها مما يقلل من الاعتماد على جليكوجين العضلة والمحافظة على مستواه، و لذا فان التحمل الهوائي يتم من خلال تحسين قدرات الجهاز الدوري و التنفسي و ذلك من خلال:

1- تحسين الكفاءة الوظيفية للقلب و يحدث نتيجة التدريب الرياضي المبني على أسس علمية سليمة تغيرات ايجابية في الكفاءة الوظيفية للقلب.فالرياضي يتميز بان معدل ضربات قلبه في الدقيقة تصل إلى أقل من 60 ضربة في الدقيقة،و عند لاعبي التحمل تصل إلى أقل من 50 ضربة بالدقيقة، في حين عند الشخص غير الرياضي 72 ضربة في الدقيقة.

و يرجع سبب انخفاض عدد ضربات القلب عند الرياضي إلى كبر تجاويف القلب مما يؤدي ذلك إلى استيعاب كمية أكبر من الدم،و بالتالي يحصل اللاعب على كمية كبيرة من الأكسجين لغرض إنتاج الطاقة بعدد أقل من ضربات القلب،كما أن التدريب الرياضي يعمل على زيادة قوة ألياف عضلة القلب مما يؤدي ذلك إلى زيادة قوة انقباض القلب و بالتالي إخراج أكبر كمية من الدم إلى الشرايين.كما أن زيادة طول فترة انبساط القلب حيث تصل فترة انبساطه إلى ثانية كاملة عند الرياضيين بدلا من(0,56) من الثانية لدى غير الرياضيين و منه فالتغيرات التي تحصل على الكفاءة القلبية نتيجة تأثيرات التدريب الرياضي تكمن في :

أ- زيادة سمك الليف العضلي للقلب و هذا يساعد على زيادة قوة الانقباض و دفع أكبر كمية من الدم إلى الشرايين.

ب- توسع مساحة التجويف القلبي(البطينين و الأذينين)

ج- طول فترة انبساط القلب(زيادة طول فترة راحة القلب).

2- زيادة في كمية الهيموجلوبين في الدم نتيجة لزيادة حجم الدم الكلي عند الرياضي و نتيجة لزيادة عدد كريات الدم الحمراء تحدث زيادة في كمية الهيموجلوبين بالدم حيث تصل عند لاعبي ألعاب القوى السريعة إلى حوالي 16 غم كل 100 سم^3 من الدم في حين تصل عند لاعبي ألعاب التحمل إلى أكثر من 18 غم كل 100 سم^3 من الدم،و نتيجة لذلك تزداد كمية الأكسجين التي يحملها دم اللاعب حيث أن كل(1غم) من الهيموغلوبين يتحد مع 1,34 سم^3 من الأكسجين.

3- زيادة قابلية الدم على مقاومة التغيرات باتجاه حمضية الدم أو قلوية الدم و ذلك نتيجة لتحسن عمل المنظمات الحيوية على التخلص من حامض اللاكتيك المتراكم في العضلات و الدم نتيجة لتوفر الاحتياطي القلوي.

4- زيادة كفاءة الجهازين الدوري و التنفسي في توصيل الأكسجين من الرئتين إلى الدم و هو ناتج عن:

أ- زيادة مساحة السطح التنفسي للرئتين و هذا يعني زيادة مساحة منطقة التقابل بين الحويصلات الرئوية و الدم.

ب- زيادة قوة عضلات التنفس الداخلية و الخارجية الموجودة بين أضلاع القفص الصدري مما يؤدي إلى توسع القفص الصدري للخارج لإتاحة الفرصة للرئتين للتمدد لاستقبال أكبر كمية من الهواء و الضغط عليه للداخل لطرح أكبر كمية من الهواء للخارج.

ج- تحسن مرونة نسيج الرئة حيث كلما كانت مرونة نسيج الرئة و خاصية الامتداد عالية كلما استوعبت الرئتان كمية أكبر من الهواء و زادت كمية الهواء المطروح للخارج.

د- زيادة مساحة شبكة الشعيرات الدموية في الرئتين.

هـ- زيادة قدرة الحويصلات الرئوية على استيعاب أكبر كمية من الأكسجين في الرئتين و نقله إلى الدم مما يؤدي ذلك إلى سرعة تبادل الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون من الرئتين إلى الدم و من الدم إلى الرئتين لطرحه خارجا.

5- تحسن كفاءة أنسجة الخلايا العضلية في امتصاص الأكسجين من الدم و بالتالي تحسن عمليات التمثيل الغذائي داخل العضلات و سرعة إنتاج الطاقة نتيجة لزيادة فاعلية الأنزيمات المؤكسدة للمواد الغذائية المخزونة في الخلايا العضلية. (الجبور 2012، 294-298)

كما أن القدرات الهوائية للاعبي كرة القدم تلعب دورا مهما في الأداء أثناء المباراة حيث أن قدرة اللاعب على الحفاظ على نفس المستوى طيلة أطوارها يعود إلى قدرته على امتصاص أكبر قدر من الأوكسجين و إمداد العضلات بأكبر قدر منه،حيث يشير السيد عبد المقصود 1992م أن القدرة الهوائية "هي العامل المحدد لمستوى تحمل الأزمنة الطويلة " و من ناحية أخرى يتوقف

مستوى القدرة الهوائية على أقصى قدرة على امتصاص الأكسجين. ، حيث أنه من المعروف أن الرياضيين الأكثر تحملا هم الذين يملكون أكبر قدرة هوائية إذ يشير كل من أبو العلا أحمد عبد الفتاح و أحمد نصر الدين سيد 2003 م أنه في حالة الأنشطة الرياضية التي تتطلب طبيعة الأداء فيها الاستمرار في العمل العضلي لفترة طويلة تزيد عن 5 دقائق فإن إنتاج الطاقة اللاهوائي لا يعتبر المصدر الرئيسي للطاقة،و لذلك تلجأ العضلة للاستعانة بالأكسجين لإنتاج الطاقة اللازمة للأداء،و بهذا يمكن الاستمرار في العمل العضلي لفترة طويلة قبل الإحساس بظهور التعب،و هذه الأنشطة الرياضية يطلق عليها أنشطة التحمل الهوائي *Aérobic Endurance* و تتمثل جميع مسابقات الجري و السباحة الطويلة و الدراجات و غيرها أما في لعبة كرة القدم و نظرا لاستمرارها لمدة طويلة فإن اعتمادها على القدرة الهوائية هو أساسي و مهم جدا حيث يرى *Philippe Leroux* 2006 أن التحمل الهوائي يتمثل في مجهود ديناميكي (جري،قفز،مراوغة ، الخ...) يعتمد على النظام الهوائي في أغلبه.

9-1:المستهلك الأقصى الأكسجيني VO_2MAX:

يعد المستهلك الأقصى الأكسجيني من أهم المؤشرات الفسيولوجية التي تعبر عن كفاءة الجهاز الدوري التنفسي في نقل الأوكسجين إلى العضلات العاملة ونقل ثاني أكسيد الكربون خارجها،حيث يتفق أبو العلا عبد الفتاح و أحمد نصر الدين 1993م،و أبو العلا عبد الفتاح 1997م،و محمد نصر الدين رضوان1998م على أن الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين VO_{2MAX} يعبر عن قدرة الجسم الهوائية،و تقوم بهذه المسؤولية ثلاثة أجهزة أساسية في الجسم هي:الجهاز التنفسي و الجهاز الدوري و الجهاز العضلي،حيث أن زيادة استهلاك الأكسجين تعني زيادة قدرة العضلة على إنتاج الطاقة. وهو أقصى معدل للأكسجين الذي يستهلكه الجسم في الدقيقة كما يرى لازم و يشير 2006م انه أقصى حجم من الأكسجين المستهلك في الدقيقة عند أداء جهد بدني، و تستخدم لذلك أكثر من 50% من عضلات الجسم .

9-1-1:طرق القياس VO_{2MAX}:

حتى يتم قياس أو تقدير الاستهلاك الأقصى للأكسجين لا بد أن يقوم المختبر بأداء جهد بدني يعبر عن ذلك ،و في مجال الاختبارات المعملية لفسيولوجيا الرياضة يستخدم لتقنين الجهد البدني أجهزة و أدوات من أهمها:السير المتحرك *Treadmill* و دراجة قياس الجهد *Aegometer Bicycle* و صندوق الخطو *Stepping Bench* و هذا بالإضافة إلى بعض أنواع الأجهزة الأخرى كما أن هناك عددا من الترتيبات اللازمة لإجراء كل قياس ، كما يشير (لامبرت *lampert* 1998) إلى تأثر المستهلك الأقصى الأكسوجيني بنوع الجهاز الذي تم القياس به حيث توصل إلى أن هناك زيادة قدرها من 5 إلى 10 % على السير المتحرك مقارنة بدراجة قياس الجهد،على العكس فانه يتأثر تأثرا قليلا بنوعية التمرين(بروتوكول) الذي يقاس به (وقت و شدة المراحل).و هناك طريقتان أساسيتان لقياس الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين هما:

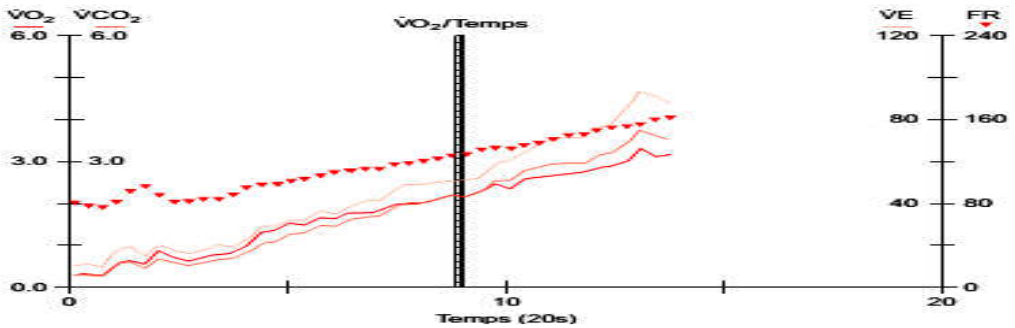
9-1-1-1:الطريقة المباشرة:

في هذه الطريقة يتم قياس الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين من خلال قيام المختبر بأداء جهد بدني متدرج الشدة متواصل الأداء حتى مرحلة التعب أو عدم القدرة على الاستمرار في الجهد و التوقف عن الأداء،و غالبا ما يستخدم في ذلك وحدة قياس متكاملة تشتمل على جهاز لتقنين الجهد البدني (السير المتحرك أو الدراجة الأرجومترية) يتصل بجهاز آخر يستخدم في التحليل المباشر لغازات التنفس أثناء الأداء،و من خلال الجهاز الأخير تؤخذ قراءة الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين VO_{2MAX} بالإضافة إلى بعض مؤشرات اللياقة الفسيولوجية الأخرى:كمعدل القلب HR و معدل التنفس BR و مقدار ضغط الدم Bp و السعة الحيوية للرئتين VC.و غيرها الأجهزة الأكثر شيوعا في قياس أقصى استهلاك للأكسجين هي جهازي السير المتحرك و الدراجة الأرجومترية،لكن تستعمل في ذلك أجهزة أكثر ملاءمة لنوع النشاط الممارس من طرف المختبر.

التبادلات الغازية تقاس أثناء الاختبار بصفة مستمرة و هي تتمثل عادة في حجم الأكسجين و حجم ثاني أكسيد الكربون و كذا التهوية الرئوية بدلالة الوقت أو الجهد أو السرعة و يمكن أن نقيس نبض القلب بطريقة مباشرة أثناء الاختبار و من خلال المنحنيات التي ترسم على جهاز الإعلام الآلي الموصول بالمختبر و بالأجهزة المحيطة به يتم استخراج ال VO_2MAX و الذي من مؤشراته:

- عدم زيادة استهلاك الأكسجين رغم زيادة شدة الحمل البدني.
- زيادة معدل القلب عن 180-185 نبضة/ق.
- زيادة نسبة التنفس RQ عن 1,1(معامل التبادل التنفسي=نسبة حجم ثاني أكسيد الكربون المطرود من عملية الزفير إلى حجم الأكسجين المستهلك خلال فترة زمنية معينة.)

لا يقل حامض اللاكتيك في الدم عن 80= 100 مليجرام% (8 ملي مول)



الشكل رقم(03) يوضح قياس استهلاك للأكسجين(VO_2)، طرد ثاني أكسيد الكربون(VCO_2)،نبض القلب(FR) و حجم التهوئة الرئوية (VE) بدلالة الوقت لاختبار كفاءة البدنية مستمر و متدرج الجهد.

9-1-1-2 : الطريقة غير المباشرة:

تعد الاختبارات غير المباشرة لمعرفة أقصى استهلاك للأكسجين الطريقة الملائمة لمعرفة مستوى القدرة الهوائية القصوى للاعبي كرة القدم في غياب الأجهزة المختبرية المتطورة حيث أن الاختبارات الميدانية المحكمة التي سوف نتطرق إليها باختصار هي طريقة لتقدير المستهلك الأقصى الأوكسجيني وليس لقياسه بالدقة اللازمة التي تتم في اختبارات الطريقة المباشرة.و قد تستعمل في هذه الاختبارات عدة طرق منها معادلات بدلالة نبض القلب، السرعة ، الوزن ، السن أو عن طريق الجداول أو النوموجرام و من خلال اطلاع الباحث وجد أن الاختبارات كثيرة إذ نعرض أهمها و هي:

أ- إختبار 12 دقيقة كوبر:

و هو اختبار ميداني مشهور ينسب إلى الطبيب الأمريكي كينيث كوبر الذي طور هذا الاختبار و اشتق معاييره من تجارب عديدة أجراها على الجنود الأمريكيين،حيث قام بتطبيقه على عينة قدرها 115 مختبر ذكور ذوي سن من 17 إلى 52 سنة يزنون ما بين 52 إلى 122 كلغم،حيث يعتمد الاختبار على جري أكبر مسافة ممكنة في مدة 12 دقيقة ، على مضمار ألعاب قوى أو على مضمار مطابق (مسطح،بمقاييس صحيحة)،إذ يتم تقدير الاستهلاك الأقصى للأوكسجين وفقا للمعادلة التالية:

المستهلك الأقصى للأوكسجين =22,315 × المسافة – 11,288

حيث أن وحدة قياس VO_2MAX (ملي لتر/كجم/دقيقة)،و المسافة بالكلم،و قد بلغ معامل الارتباط بين مسافة الجري في 12 دقيقة و قيمة الاستهلاك الأقصى للأوكسجين 0,84.

ب- اختبار luc Léger:

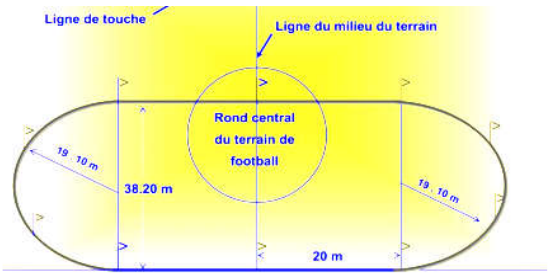
هو اختبار متدرج يهدف إلى قياس استهلاك الأقصى للأوكسجين(VO_2MAX) و السرعة الهوائية القصوى(VMA)،يعتمد أساسا على القيام بالعدد الأكبر من الجري ذهابا و إيابا بين خطين يبعدان عن بعضهما 20 م، و بسرعة تصاعدية.يتم ضبطها بواسطة شريط تسجيل يصدر صوتا ذا نغمة قصيرة(*audio cassette*)،ينبغي عند سماعها أن يكون المختبر عند طرف 20 م،يبدأ الاختبار بسرعة 8 كلم/سا مع زيادة متدرجة بـ0,5 كلم /سا كل دقيقة،و يستمر الاختبار حتى الوصول إلى التعب و عدم مجارات سرعة إيقاع النغمات. يتم حساب المستهلك الأقصى الأوكسجيني وفقا للمعادلة:

شكل رقم (04) يوضح اختبار الجري المكوكي 20 م luc léger

VO2MAX(ملل/كلغ.دقيقة)=31,025+(3,238× سرعة الجري كلم/سا)-(3,248×العمر بالسنوات)+(0,1536×السرعة×العمر)

جـ- إختبار vam-eval:

يهدف الاختبار إلى تقدير أقصى استهلاك للأكسجين VO_2MAX حيث يتطلب هذا الاختبار مضمار طوله 400 م مقسم إلى مسافات قدرها 20 م حيث يقوم المختبر بالجري في المضمار بسرعة متدرجة بزيادة قدرها 0,5 كلم/ سا متبعا ريتما يتم ضبطه بواسطة شريط تسجيل يصدر صوتا ذا نغمة قصيرة(*Cassette audio*)



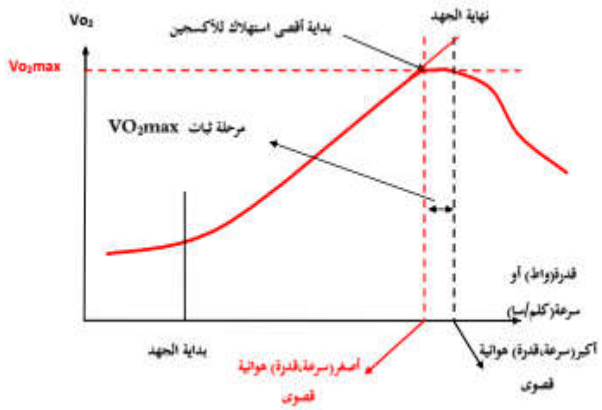
الشكل رقم (05) يوضح قياسات مضمار أداء اختبار

كل دقيقة ،يتوقف الاختبار حينما لا يستطيع المختبر مجارات الريتم المفروض حيث يجب التوقف إن كان التأخر أكثر من 2م عن أقرب 20 م.و لتقدير أقصى استهلاك للأكسجين تستعمل الجدول

- بالإظافة إلى هذه الاختبارات يوجد الكثير من الاختبارات التي يعتمد عليها في تقدير الاستهلاك الأقصى للأوكسجين VO_2MAX منها إختبار استرا ند (*Astrand's test*) ،حيث يستعمل"طريقة النوموجرام "في تقدير للاستهلاك الأقصى للأوكسجين لدى أستراند .

2-9:السرعة الهوائية القصوى*VMA* و القدرة الهوائية القصوى *PMA*:

يعد هذان المؤشران عنصران مهمان جدا بالنسبة لعملية التدريب في كرة القدم حيث يعبران عن أصغر سرعة أو أصغر قدرة تتوافق مع أقصى استهلاك للأوكسجين و مفهوم لهذين المؤشران كون أن بلوغ الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين يثبت في حين أن الجهد أو السرعة المرافقة له تستمر و الشكل (06) يوضح هذا الاختلاف.



الشكل رقم (06) يوضح القدرة الهوائية القصوى (PMA) و السرعة الهوائية القصوى (VMA) عند بداية المستهلك الأقصى الأكسجيني ($VO2_{MAX}$)

إذ تعرف السرعة الهوائية القصوى أنها السرعة التي يبلغها اللاعب عند بلوغه أقصى استهلاك للأكسجين له ،حيث أن قياس السرعة الهوائية القصوى يبقى أفضل من الاستهلاك الأقصى للأوكسجين في توجيه التدريب و تحديد درجة الحمل كونه لا يحتاج إلى أدوات مخبرية متطورة و باهظة الثمن يكفي فقط أحد الاختبارات الميدانية التي تعتمد على التدرج في السرعة

بانتظام إلى حين الوصول إلى التعب مثل اختبار *vameval* ، *luc léger* ، كوبر،كونكوني و التي تعتمد على تحديد سرعة آخر مرحلة(*palier*) و التي تعبر على السرعة الهوائية القصوى المعبرة على القدرة الهوائية القصوى *vo2max*.

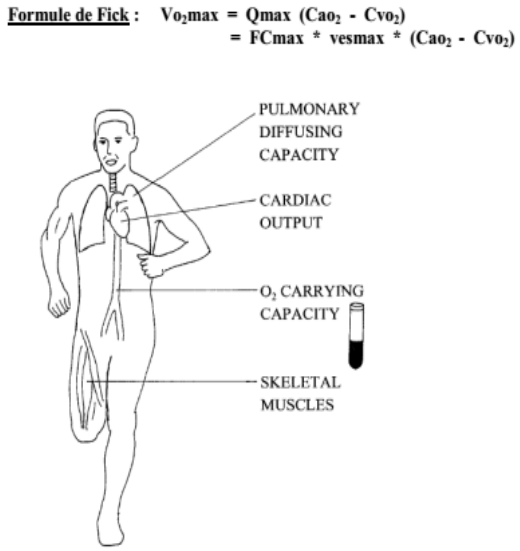
أما بالنسبة القدرة الهوائية القصوى فيتم تقديرها على جهاز الدراجة الأرجومترية و بنفس المبدأ الذي تحدد به السرعة الهوائية القصوى أي بتمرين يبدأ بشدة ضعيفة تزداد تدريجيا حتى وصول المختبر إلى التعب و تقاس بـ (الواط) ،كما يرى *jack savoldelli* و *Lionel laidet* أن القدرة الهوائية القصوى تعادل المستهلك الأقصى الأوكسجيني و الاختلاف يكمن في وحدة القياس فقط.

كما يمكن استخراج قيمة السرعة الهوائية القصوى بدلالة vo2max و تكلفة الطاقة Coût énergétique حيث :

VMA = VO2max / Coût énergétique

3-9:استجابة و تكيفات المستهلك الأقصى الأكسجيني للجهد البدني و التدريب:

يعد الاستهلاك الأقصى للأكسجين (vo2max) أو القدرة الهوائية القصوى(PMA) من أكثر التعابير شيوعا و استخداما في حقل فيسيولوجيا الجهد البدني ،بل إن قياسه و معرفة مقداره أصبح من الإجراءات الاعتيادية (الروتينية) ضمن اختبارات التقويم الفسيولوجي للرياضيين و لعامة ممارسي النشاط البدني ، و هو يعبر عن أقصى قدرة للجسم على أخذ الأكسجين بواسطة الرئتين (الجهاز التنفسي) ثم نقله عبر الجهاز القلبي الوعائي ثم امتصاصه و استعماله من قبل العضلات ،و هو يساوي إجرائيا حاصل ضرب أقصى نتاج للقلب (كمية الدم التي يضخها القلب في الدقيقة) في أقصى فرق شرياني وريدي للأكسجين (الفرق بين محتوى الشريان من الأكسجين و محتوى الوريد من الأكسجين)



الشكل رقم (7) يوضح العوامل المؤثرة على المستهلك الأقصى الأكسجيني($vo2_{max}$)

Equation de Fick et VO :

$$Vo2max = Qmax \times (cao2 - cvo2)max$$

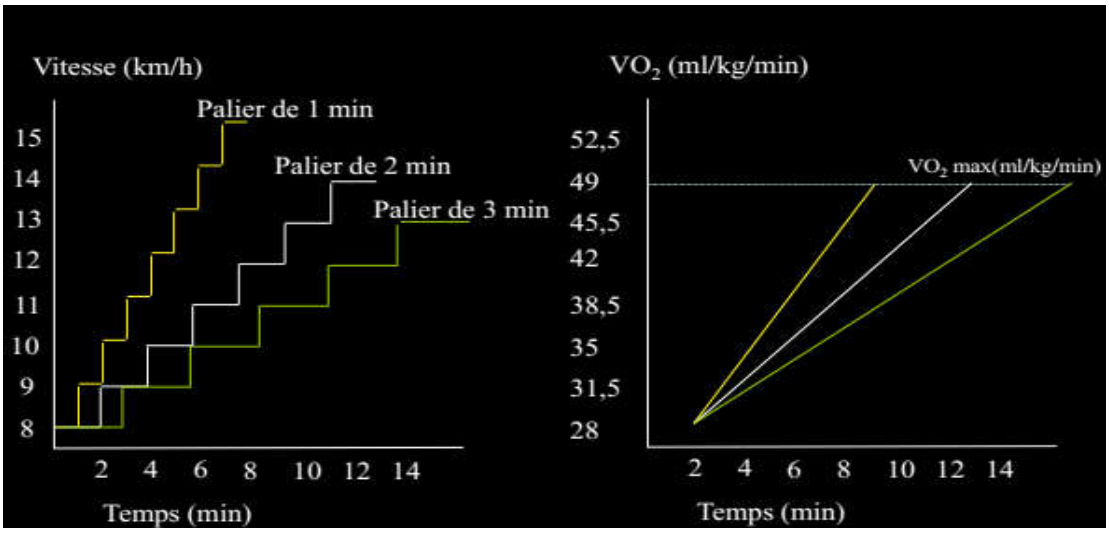
V **O2** = consommation d'oxygène

Q = débit sanguin

Ca **O2**= contenu artériel en oxygène

Cv **O2** = contenu veineux en oxygène

و يستجيب المستهلك الأقصى الأكسجيني في الجهد البدني حسب استجابة طردية مع شدة التمرين و معدل نبض القلب ،كون أن الدفع القلبي يساوي **معدل نبض القلب× حجم الضربة** و قد يؤثر حجم و شدة التمرين على سرعة الوصول إلى الحالة القصوى



الشكل رقم (8) يوضح استجابة حجم استهلاك الأكسجين و السرعة الهوائية تبعا لنوع الجهد البدني

9-4:العتبة الفارقة الهوائية و اللاهوائية:

تعد الدراسات التي تدرس العلاقة ما بين نبض القلب ،حجم استهلاك الأكسجين ،حمض اللاكتيك مع القدرة أو السرعة،نبض القلب وحجم استهلاك الأوكسجين،حجم استهلاك الأكسجين مع حجم طرد ثاني أكسيد الكربون كعلاقة خطية توضح خصائص التمارين التحملية *(Astrand P.O 1954) (Cazorla G 1993) (Léger L 1982)* و ذلك لمعرفة حدود مصادر الطاقة الهوائية التي تتمثل في كل من العتبة الفارقة اللاهوائية و الهوائية،حيث أن البعض يرى أن مستوى 2 مملي مول هو الحد الذي يمثل العتبة الفارقة الهوائية *seuil aerobe* و يقصد بها أنها الحد الأدنى لشدة الحمل البدني الذي يمكن أن يحسن القدرة الهوائية،و يشير عماد الدين شعبان نقلا عن *kinderman* وآخرون و*stegmann* و آخرون أن مستوى 4 مللي مول هو العتبة الفارقة اللاهوائية *seuil anérobie* و البعض أشار إلى أن العتبة الفارقة اللاهوائية هي الحد الأقصى لشدة الحمل الذي يمكن أن

يطور القدرات الهوائية،أي أن العتبة الفارقة اللاهوائية هي شدة الحمل البدني التي يزيد عندها معدل انتقال حامض اللاكتيك من العضلات إلى الدم بدرجة تزيد عن معدل التخلص منه في الدم،كما أشارت بعض الدراسات أن العتبة الفارقة اللاهوائية هي شدة التمرين التي تقابل التوازن بين إنتاج و إزالة حمض اللاكتيك في الدم ، و بالإشارة إلى أهمية المؤشرين فإن العتبة الفارقة اللاهوائية تعد الأهم في التدريب البدني للاعبين أفضل من العتبة الفارقة الهوائية حيث يشير *kindermann* و آخرون 1979 م أن تدريب بشدة حمل العتبة الهوائية لا يعمل إلا على المحافظة على اللياقة البدنية،بينما يعمل التدريب وفق شدة العتبة الفارقة اللاهوائية على تنمية القدرة البدنية للاعبين كما استخلص *Vallier* و آخرون 2000م من خلال دراستهم أن العتبة الهوائية الأولى(عتبة التهوية الرئوية الأولى،العتبة اللاكتيكية الأولى) تعتبر وسيلة مهمة في برمجة التدريب البدني للمرضى غير الأصحاء ، بينما تعتمد العتبة اللاهوائية(عتبة التهوية الرئوية الثانية،العتبة اللاكتيكية الثانية) في برمجة التدريب البدني للرياضيين، و يشرح هزاع محمد هزاع 1989م ماهية فسيولوجيا العتبة الفارقة اللاهوائية حيث يرى أنها عبارة عن زيادة معدل إنتاج حمض اللاكتيك في الدم بشكل يفوق معدل استخدامه و هذا يعود إلى الحاجة للطاقة *ATP* ،إذ يصبح الطلب أعلى من معدل توفيره عن طريق التحلل الهوائي،لذا فان حمض البيروفيك لزاما علية أن يقبل أيون الهيدروجين و بالتالي يتم اختزاله إلى حمض اللبنيك،لكي يتم توفير(NAD^+) الضروري لتحويل مركب جليسيرالدهايد 3 فوسفات إلى1،3 ثنائي الفوسفوجليسيريت.هذه الخطوة تعد ضرورية من أجل تجنب إيقاف عملية التحلل الجلوكوزي(*Glycolys*) ،و عليه فان المحصلة هي ارتفاع تركيز حمض اللبنيك في العضلات أولا،ثم في الدم و ذلك نتيجة زيادة معدل إنتاج حمض اللبنيك بشكل يفوق معدل استخدامه،مما يقود إلى زيادة أيونات الهيدروجين و إرتفاع الحموضة في العضلات و بدرجة أقل في الدم.

9-5:منطقة الانتقال هوائي-لاهوائي**zone de transition aérobie-anaérobie**:

من خلال ما سبق ذكره نستدل أن هناك منطقة بين العتبتين هي الأنسب للتدريب الهوائي أي بين الحد الأدنى و الحد الأقصى لشدة الحمل البدني الذي يطور القدرة الهوائية و هو ما يسمى علميا(**zone de transition aérobie-anaérobie**) أي منطقة أو مجال الانتقال هوائي-لاهوائي،و قد تم تحديد عدة مناطق (*zones*) اعتمادا على نظرية انكسارات العلاقة الخطية أثناء اختبارات تحملية متدرجة الشدة،بين عتبة انكسار التهوية الأولى و الثانية(SV_1-SV_2)، أو انحناء منحنى العلاقة الخطية (حمض اللاكتيك/سرعة)،(حمض اللاكتيك/قدرة)،أو(نبض القلب/سرعة)،(نبض القلب/قدرة)،كما تعتبر منطقة التحول هوائي- لاهوائي كمعيار يعود له المدرب لتقنين حمل التدريب الذي يستهدف القدرات الهوائية و اللاهوائية للاعبين حيث أنه كل ما اقتربت درجة الحمل من العتبة الفارقة اللاهوائية كلما كان النظام الغالب في عملية التدريب لاهوائي و كلما اقتربنا من العتبة الفارقة الهوائية كان النظام الغالب في عملية التدريب هو النظام الهوائي،حيث يرى *Meddelli* 1989م أن تحديد المستهلك

الأقصى الأوكسجيني و منطقة التحول هوائي-لاهوائي يعتبر معيارا دقيقا و مقارنا بالنسبة للمدرب كما أنهما يحولان التقويم الكمي إلى تقويم نوعي للتدريب كي يكون اللاعب كما يريده المدرب

9-6:طرق قياس العتبة الفارقة اللاهوائية و الهوائية:

لقد كثرت و تعددت الطرق لتحديد كل من العتبتين الفارقة الهوائية و اللاهوائية منذ أن قام *Wessermann* بشرح مفهوم العتبة اللاهوائية تتابعت الدراسات التي تدرس كيفية تحديد أو قياس أو تقدير العتبة الهوائية و اللاهوائية منها دراسة *RIEU* 1986 الذي توصل أنه لا زال هناك ريب في مفهوم العتبة الهوائية و اللاهوائية حيث لا توجد لهما مفهوم فسيولوجي محدد و في نفس الفترة الزمنية قام *Davis* و*James* بدراسة ينظر فيها إلى مستقبل مفهوم العتبة اللاهوائية في البحث العلمي مستقبلا و بعد اعتماده على قياس العتبة الفارقة اللاهوائية بالطريقة تبادل الغازات و قياس حمض اللاكتيك في الدم توصل إلى أن هذا المؤشر يمكن قياسه كما أنه سوف يتطور باستمرار ، و من خلالي أدبيات القياس و التقويم و عدة دراسات ،كل اختبارات التي تحدد أو تقدر العتبتين الهوائية و اللاهوائية تنتمي إلى نوعين و هما الطريقة غير التوسعية (*Technique no-invasive*) و هي طريقة ظهرت في أوائل السبعينات الميلادية حين تمكن *Wesserman* وزملاؤه من تطبيقها و هي لا تعتمد على عملية سحب الدم من المختبر لمعرفة نسبة حمض اللاكتيك فيه،حيث اعتمد على معرفة التغيرات التي تحدث لعمليات التبادل الغازي المصاحبة للتحمض الأيضي أثناء الجهد البدني ثم بعد ذلك وفي بداية الثمانينيات قام الباحث الايطالي *conconi* 1982 م باعتماد نبض القلب بدلالة السرعة أو الجهد لتقدير العتبة الفارقة الهوائية و اللاهوائية و ثاني طريقة و هي الطريقة التوسعية (*Technique* invasive) و هي التي تعتمد على التغيرات في قيمة حمض اللاكتيك في الدم لها عدة نظريات و اختلافات سوف نعرضها لاحقا.

أما فيما يخص بروتوكولات الاختبارات و كيفية تحديد هما فإن الدراسات لا زالت لحد الآن جارية و هي في تطور مستمر مراعية في ذلك طبيعة النشاط الرياضي في وضعها، و قد أشار *Léger* و*Tokmakidis* 2008 أن تقنيات تحديد العتبة اللاهوائية تصل إلى 34 تقنية،19 منها توسعية(*invasive*) و 15 غير توسعية (*no-invasive*) سوف نتطرق إلى أهمها فيما يأتي:

9-6-1:طريقة إنكسار التهوية الرئوية:

يتطلب تحديد العتبة اللاهوائية بواسطة قياس تركيز حمض اللبنيك في الدم أخذ عينات دم متكررة من المفحوص ،و هذا الإجراء يعد إجراءا توسعيا(*invasive*)،مما حدا العديد من المختصين إلى التفكير في طريقة غير مباشرة لقياس العتبة اللاهوائية بواسطة متغيرات التبادل الغازي و هذا ما يستخدم حاليا تحت مسمى عتبة التهوية الرئوية،و ينبع الأساس النظري لهذا المفهوم من أن زيادة تركيز حمض اللبنيك في الدم و بالتالي الاعتماد أكثر على الطاقة اللاهوائية يقود إلى زيادة إنتاج حمض اللبنيك ، و بالتالي تطلق أيونات الهيدروجين،مما يزيد من معدل الأس الهيدروجيني(أي زيادة الحموضة)،لذا يقوم الجسم بمحاولة صد هذه الحموضة (أي

مكافحتها) عن طريق إتحاد أيونات البيكربونات مع أيونات الهيدروجين،مما ينتج عنه حمض البيكربونيك الذي سرعان ما يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون و ماء،إن النتيجة هي بالطبع زيادة معدل إنتاج أكسيد الكربون (من مصدر ليس له علاقة بالتنفس الخلوي،أي ليس له علاقة بعمليات إنتاج الطاقة في الخلية،التي يتم خلالها استخدام الأكسجين بغرض الحصول على الطاقة، و إنتاج ثاني أكسيد الكربون كمحصلة لعملية التنفس الخلوي).إن زيادة معدل إنتاج ثاني أكسيد الكربون(CO_2) بفعل محاولة الجسم صد الحموضة تؤدي إلى ارتفاع ضغط ثاني أكسيد الكربون في الدم،مما ينبه مركز التحكم في التنفس في المخ،الذي بدوره يحفز عملية التنفس فيزداد حجم التهوية الرئوية(من أجل طرد الكمية الزائدة من (CO_2)،لذا نلاحظ في تلك اللحظات زيادة غير خطية (أي متصاعدة) لحجم التهوية الرئوية(VE)، الأمر الذي يستدل من خلالها على حدوث العتبة اللاهوائية.و تعد مؤشرات التبادل الغازي التالية الأكثر شيوعا في الاستدلال على حدوث عتبة التهوية الرئوية:

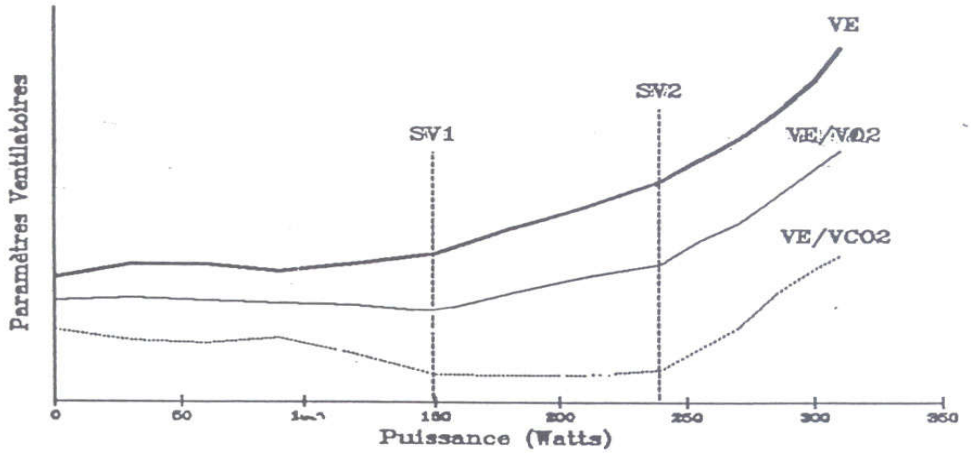
1- الزيادة غير الخطية في حجم التهوية الرئوية(VE).

2- الزيادة غير الخطية في حجم ثاني أكسيد الكربون المنتج .

3- زيادة مكافئ التهوية الرئوية الأكسجيني(VE/VO_2) بدون زيادة مكافئ التهوية الرئوية لثاني أكسيد الكربون(VE/VCO_2).

4- البعض قد يستخدم تجاوز معامل التبادل التنفسي للرقم 1,0.

و تنتمي هذه الطريقة إلى المدرسة الشمال الأمريكية و المتمثلة في *Wasserman* و مجموعته و الشكل رقم(09) يوضح كيفية تحديد العتبة الفارقة اللاهوائية و الهوائية بواسطة طريقة المنحنيات البيانية.



الشكل رقم(09) يوضح قياس العتبة الفارقة الهوائية و اللاهوائية بواسطة التغير في التهوية الرئوية *(J.M.Vallier 2000)*

9-6-2:طريقة تحديد حمض اللاكتيك:

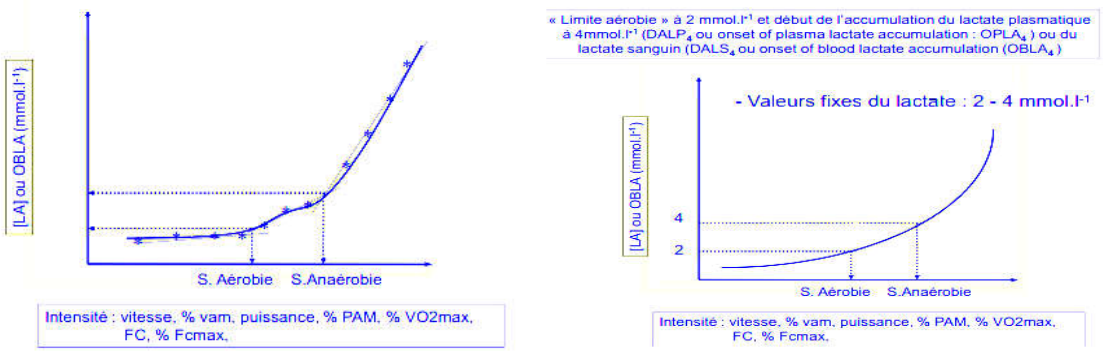
حسب الجمعية الفرنسية للطب الرياضي تعد كل من طريقتي تحديد حامض اللاكتيك في الدم و التهوية الرئوية كمرجعية لتحديد مناطق الشدة اللازمة لبرمجة التدريب البدني، و قد تعددت الدراسات و طرق قياس العتبتين اللاهوائية و الهوائية باستعمال العلاقة الخطية بين حمض اللاكتيك/قدرة أو السرعة و بالتالي ملاحظة التغيرات الخطية في هذه العلاقة و قد تعددت معها النظريات و المقاربات و التي تميزت بها المدرسة شمال الأوروبية. .

- **مقاربة *Kindermann* و آخرون** و الذي قام و من خلال اختبار متدرج الشدة مقسم إلى مراحل و متابعة التغيرات الحاصلة في العلاقة الخطية ما بين حمض اللاكتيك و حجم استهلاك الأكسجين(La/Vo_2)، حيث حدد إحصائيا العتبة اللاهوائية عند مستوى 4 ملي مول/لتر،و عتبة الهوائية عند مستو 2 ملي مول/لتر، و قد لوحظ وجود ثلاث مراحل من خلال المنحنى شكل رقم(10):

- المرحلة الأولى و هي ثبات منحنى حمض اللاكتيك أفقيا،أي ثبات تركيزه في الدم و هي مرحلة كانت تفسر على أنها نتيجة غياب تكوين حمض اللاكتيك،بسبب شدة الحمل الخفيفة،بحيث يكون عمل العضلي يعتمد على النظام الهوائي،فهذا التفسير أصبح مهملا و لا يعمل به،إذ أن هذا الثبات هو محصلة التبادل ما بين إنتاج و التخلص من حامض اللاكتيك في الدم.

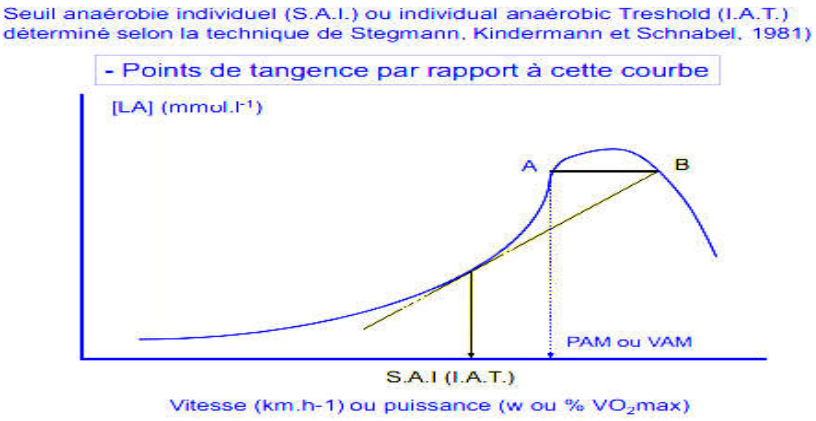
- المرحلة الثانية تبدأ بانحناء بسيط للأعلى،حيث فسرت على أنها مرحلة مختلطة ما بين النظامين الهوائي و اللاهوائي بحيث يبدأ النظام اللاهوائي بالعمل كمصدر للطاقة بالاشتراك مع النظام الهوائي (تسمى هذه المرحلة بمنطقة التحول هوائي-لاهوائي *zone de transition aérobie-anaérobie*).أو هي حسب مقاربة *Farrel* و آخرون 1979م بداية تراكم حامض اللاكتيك في بلازما الدم (*"OPLA" début plasmatique d'accumulation du lactate*). تتزامن مع الارتفاع البسيط في تركيز حمض اللاكتيك في الدم عند مستوى 2 ملي مول/لتر.

- المرحلة الثالثة تبدأ بتصاعد مفاجئ أو بزاوية كبيرة للأعلى ، حيث فسر هذا بزيادة انتقال حمض اللاكتيك إلى الدم أكثر من معدل التخلص منه (العتبة اللاهوائية)و في هذه المرحلة يكون النظام الغالب في إنتاج الطاقة هو النظام اللاهوائي.و قد فسرهاحسب مقاربته ببداية تراكم حمض اللاكتيك في الدم (*« OBLA » début d'accumulation du lactate sanguin*) تتزامن مع ارتفاع المفاجئ لتركيز حمض اللاكتيك في الدم فوق مستوى 4 مللي مول/لتر



الشكل رقم (10) يوضح كيفية تحديد العتبة اللاكتيكية($SL_1.SL_2$) بواسطة التغيرات في منحنى العلاقة الخطية (لاكتيك/سرعة،لاكتيك/قدرة،لاكتيك/حجم استهلاك الأكسجين

– مقاربة *Stegmann* 1981 حيث يعتمد على طريقة أخرى في قراءته لمنحنى العلاقة بين حمض اللاكتيك و سرعة المختبر على جهاز السير المتحرك حيث يبدأ بدرجة ميل مقدارها 0.5 درجة لأعلى .يبدأ المفحوص بالجري بمستوى سرعة 2.0 م/ث، ثم تزداد سرعة الجري على السير المتحرك بمعدل قدره 0.5 م/ث كل 3 دقائق، يستمر أداء المفحوص على السير المتحرك حتى أقصى ما يتحمل أو الوصول لمرحلة الإجهاد الشديدة. يتم قياس تركيز حمض اللاكتيك في الدم قبل الجري وكل3 دقائق أثناء الجري حتى الوصول لأقصى ما يتحمله المفحوص وأيضا بعد1،3،5،10 دقائق من انتهاء الجري .تم قياس تركيز حمض اللاكتيك في الدم. ولتحديد العتبة اللاهوائية الفارقة تم رسم منحنى حمض اللاكتيك

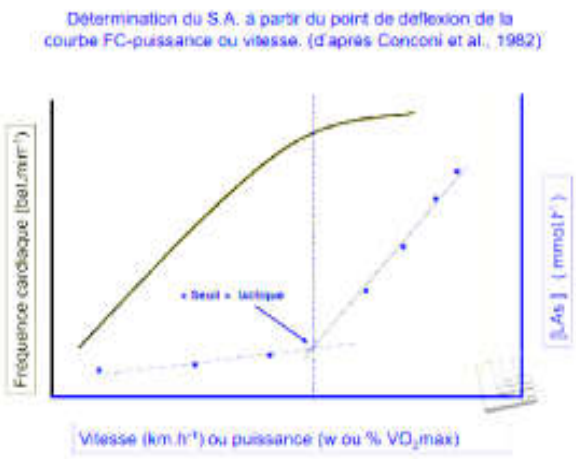


الشكل رقم(11) يوضح قياس العتبة الفارقة اللاهوائية (IAT*) عن طريق تركيز حمض اللاكتيك في الدم باستخدام السير المتحرك،يتم سحب عينة الدم قبل الجري،بعد انتهاء كل مستوى السرعة المحددة،بعد 1،3،5،10 دقائق من انتهاء الجري على السير المتحرك.

***IAT: individual anaerobic threshold**

9-6-3:تحديد العتبة الفارقة اللاهوائية و الهوائية باستخدام معدل نبض القلب:

نظرا لصعوبة تطبيق طرق تحديد العتبة الفارقة اللاهوائية بالنسبة للمدرب،لذا فإنه يمكن تحديد مستوى العتبة الفارقة اللاهوائية باستخدام قياس معدل القلب نظرا لعلاقتها بكل من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين و التهوية الرئوية و نسبة تركيز حامض اللاكتيك بالدم و بذلك يمكن للمدرب تنمية العتبة الفارقة اللاهوائية باستخدام أحمال بدنية ذات شدة من 75-85% أي بمعدل القلب يكون في حدود 140-150 ضربة/دقيقة ثم تزداد الشدة تدريجيا حتى

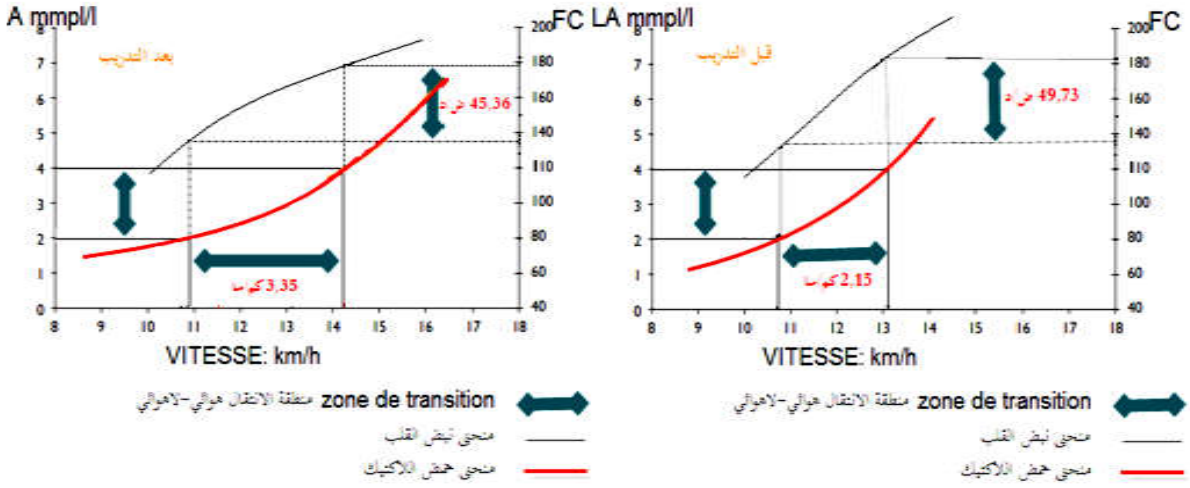


الشكل رقم (12) يوضح نقطة انكسار منحنى نبض القلب بدلالة السرعة (العتبة اللاهوائية)

تصل في نهاية الموسم التدريبي إلى 80-90% و يصل معدل القلب إلى 150-175 ضربة/دقيقة ، و قد ظهرت هذه الطريقة مع البروفسور في البيوكيمياء "كونكوني" في أوائل الثمانينيات حيث قام باختبار يمكن من خلاله معرفة نبض القلب المقابل لحصول العتبة الفارقة اللاهوائية بدون استخراج عينات من الدم تجنبا للطريقة التوسعية،حيث قام بالقيام باختبار ميداني يلاحظ من خلاله انكسار منحنى البياني لنبض القلب بدلالة سرعة الجري،حيث يوافق هذا الانكسار العتبة اللاهوائية المحدد بواسطة تركيز حمض اللاكتيك في الدم،و من ذلك الوقت أصبح هذا الاختبار الميداني يسمى بـ "اختبار كونكوني"، "*Test de conconi*"وقد استعمله المدربون في تحديد سرعة تدريب تتوافق مع العتبة اللاكتيكية أو اللاهوائية،منذ ذلك الوقت أجريت عدة دراسات على هذا الاختبار لإثبات نجاعته من عدمها *(TOKMAKIDIS 1987) (Daniel G. Carey 2014) (G. GRAZZI 2005)* فوجدت عليه بعض التحفظات كون ليس لديه تفسير فسيولوجي مقنع كما أن بعض هذه الدراسات توصلت إلى عدم نجاعته *(Doust 2010)*،و للاختبار بروتوكول معين حيث أنه يعتمد على جري المختبر على طول مضمار 400م حيث يقوم بزيادة السرعة كل 200م بمقدار 0,5 كلم/سا،بحيث تسجل نبضات القلب في كل مراحل الاختبار أي كل 200 م و تكون السرعة الابتدائية للاختبار 8 كلم/سا،تسجل النتائج و يتم رسم منحنى بياني لنبض القلب بدلالة السرعة حيث تحدد العتبة اللاهوائية في نقطة انكسار المنحنى و تستنتج العتبة الهوائية بطرح قيمة 20 ن/د من العتبة اللاهوائية.و الشكل رقم (12) يوضح نقطة انكسار منحنى نبض القلب بدلالة السرعة .

9-7:العتبة الفارقة اللاهوائية و التدريب :

يؤثر التدريب البدني المنظم على ديناميكية حمض اللاكتيك من و إلى العضلات العاملة حيث يؤدي إلى تقليل تجمع حامض اللاكتيك عن طريق تقليل معدل إنتاجه في العضلات مع زيادة معدل التخلص منه في نفس الوقت في هذه العضلات،و ذلك عن طريق تحول البيروفيك إلى ألانين، حيث يشير كل من أبو العلا احمد عبد الفتاح،احمد نصر الدين1993 أن زيادة معدل تحول البيروفيك إلى الألانين هو العامل الرئيسي لتأخير ظهور التعب الناتج عن زيادة تركيز اللاكتيك أثناء النشاط البدني،و قد قدر (فليجو وارن 1971) هذه العملية بإمكانية تقليل حامض اللاكتيك بنسبة 35%-60% عند الأشخاص المدربين،كما تشير بعض الدراسات أن التدريب البدني يزيد من نشاط إنزيم "آلانين ترانس أميناز" و هو الإنزيم المسؤول عن تحويل حمض البيروفيك إلى ألانين،و هو عبارة عن حامض أميني Amino acid يمكنه الانتشار في الدم ثم التحول إلى جلوكوز في الكبد ،كما أن التدريب الرياضي يقلل من إنتاج حامض اللاكتيك في العضلات و بالتالي يؤدي ذلك إلى تأخير العتبة الفارقة اللاهوائية و هذا ما أوضحه "سالتن" في دراسته في تجربة تم فيها تدريب إحدى الساقين تدريبا تحمليا أظهرت أن إنتاج حمض اللبنيك من الساق المدربة كان أقل من الساق غير المدربة أثناء جهد بدني دون الأقصى على الرغم من أن تدفق الدم و استهلاك الأوكسجين كان متساويا لكلا الساقين ،كما تظهر دراسة أن الأداء التحملي يرتبط مع العتبة اللاهوائية أكثر من ارتباطه مع الاستهلاك الأقصى الأكسجيني (هزاع 1995) و يفسر التحسن الحاصل بالتحسن الوظيفي الذي حصل على مستوى العمليات الأيضية الهوائية و اللاهوائية بفعل الزيادة في فعالية الإنزيمات عن التفاعلات الكيميائية التي تحدث في كلا من الجلكزة الهوائية على مستوى حلقة



الشكل رقم (13) يوضح تأثير التدريب البدني التحملي على السعة الهوائية (العتبة الفارقة اللاهوائية)

كريبس و اللاهوائية أدى تأخير ظهور التعب من خلال التقليل من إنتاج حمض اللاكتيك و الزيادة في سرعة التخلص منه مما يؤدي إلى انخفاض أيونات الهيدروجين المسؤول عن التعب في الدم أي ارتفاعphالدم،و كلها مؤشرات تعبر عن تأخر العتبة الفارقة اللاهوائية و ميلان منحنى حمض اللاكتيك نحو اليمين (شكل 13) و بالتالي زيادة السرعة و النبض الموافقين للعتبة اللاكتيكية و بطبيعة الحال الزيادة في القدرة الهوائية تحت القصوى المعبر عنها بمنطقة الانتقال هوائي –لاهوائي

باللغة العربية:

1. ابراهيم الدبابية. محاضرات فيسيولوجيا الرياضة . الأردن : الجامعة الأردنية،كلية التربية الرياضية.
2. أبو العلا أحمد عبد الفتاح. (1997). التدريب الرياضي"الأسس الفسيولوجية" (الإصدار ط1). القاهرة: دار الفكر العربي.
3. أبو العلا أحمد عبد الفتاح. (1999). الاستشفاء في المجال الرياضي. القاهرة: دار الفكر العربي.
4. أبو العلا أحمد عبد الفتاح. (2003). فسيولوجيا التدريب و الرياضة. القاهرة: دار الفكر العربي.
5. ابو العلا احمد عبد الفتاح،احمد نصر الدين السيد. (1993). فسيولوجيا اللياقة البدنية (الإصدار ط1). القاهرة: دار الفكر العربي.
6. أبو العلا أحمد عبد الفتاح،أحمد نصر الدين سيد رضوان. (2003). فسيولوجيا اللياقة البدنية. القاهرة: دار الفكر العربي.
7. بهاء الدين ابراهيم سلامة. (1999). التمثيل الحيوي للطاقة في المجال الرياضي. القاهرة: دار الفكر العربي.
8. حسن السيد أبو عبده. (2008). الاعداد البدني للاعبي كرة القدم (الإصدار ط1). الاسكندرية: مكتبة الاشعاع الفنية.
9. ريسان خريبط،علي تركي. (2002). فسيولوجيا الرياضة. جامعة بغداد.
10. السيد عبد المقصود. (1992). نظريات التدريب الرياضي،تدريب و فسيولوجيا التحمل. القاهرة: مطبعة الشباب الحر.
11. شعبان حسن عماد الدين. (2008). تأثير شدة حمل العتبة الفارقة اللاهوائية على بعض المتغيرات الفسيولوجية و مستوى تركيز هرمون الكورتيزول و الذكورة و النمو. العلوم التربوية ، 604-620 (35).
12. طلحة حسام الدين،وفاء صلاح الدين ، مصطفى كامل أحمد ، سعيد عبد الرشيد. (1997). الموسوعة العلمية في التدريب الرياضي. القاهرة: مركز الكتاب للنشر.
13. لازم كماش،صالح بشير سعد. (2006). الاسس الفزيولوجية للتدريب في كرة القدم. الاسكندرية: دار الوفاء.
14. لوح هشام.عسلي حسين .(2017-2018). محاضرات فيسيولوجيا الجهد البدني. وهران : جامعة وهران للعلوم و التكنولوجيا "محمد بوضياف"
15. محمد الهزاع،يحي كاضم النقيب هزاع. (1979). موضوعات معاصرة في الطب الرياضي و علوم الحركة-العتبة اللاهوائية المعنى و الدلالة. الاتحاد العربي السعودي للطب الرياضي.
16. محمد حسن علاوي. (1994). علم التدريب الرياضي (الإصدار ط 13). القاهرة: دار المعارف.
17. محمد حسن علاوي،أبو العلا أحمد عبد الفتاح. (2000). فسيولوجيا التدريب الرياضي. القاهرة: دار الفكر العربي.
18. محمد عبد السلام ابراهيم سليمان. (2008). أساسيات الإنعاش القلبي الرئوي . جامعة الملك سعود : الاتحاد السعودي للتربية البدنية و الرياضية .
19. محمد عي القط. (1999). وظائف أعضاء التدريب الرياضي مدخل تطبيقي. القاهرة: دار الفكر العربي.
20. محمد محمد الحماحمي. (2000). التغذية و الصحة للحياة و الرياضة. القاهرة: مركز الكتاب للنشر.
21. محمد نصر الدين رضوان. (1998). طرق قياس الجهد البدني في الرياضة (الإصدار 1). القاهرة: مركز الكتاب للنشر.

22. موفق مجيد المولى. (1999). الاعداد الوظيفي في كرة القدم فسيولوجيا-تدريب-مناهج-خطط. الأردن: دار الفكر للطباعة و النشر و التوزيع.

23. نايف مفضي الجبور. (2012). فسيولوجيا التدريب الرياضي (الإصدار ط 1). عمان: مكتبة المجتمع العربي للنشر و التوزيع.

24. الهزاع محمد هزاع. (1995). الإستهلاك الأقصى للأكسجين و العتبة اللاهوائية و الأداء التحملي لدى عدائي المسافات الطويلة المتميزين. المجلة الطبية السعودية ، 16، 548-551.

25. الهزاع محمد هزاع. (2009). فسيولوجيا الجهد البدني"الأسس النظرية و الاجراءات المعملية للقياسات الفسيولوجية. الرياض، جامعة الملك سعود : النشر العلمي و المطابع.

26. وائل محمد رمضان أبو القمصان. (1998). برنامج مقترح لتنمية تحمل السرعة و تأثيره على العتبة الفارقة اللاهوائية و مستوى الانجاز الرقمي لمتسابقي 800م جري. القاهرة: كلية التربية الرياضية للبنين،جامعة حلوان.

باللغة الأجنبية:

27. Astrand P.O, R. L. (1954). Anomogram For Calculation Of Aerobic Capacity(Physical Fitness) From Pluse Rate During Sub-Maximal Work. J.Appl.Physiol. (7), 21-218.

28. Aunola S., R. H. (1986). Aerobic And Anaerobic Thresholds Determined From Venous Lactate Or From Ventilation And Gas Exchange In Relation To Muscle Fiber Composition. Int. J. Sports Med (7), 161-166.

29. Aunola S., R. H. (1988). Comparison Of Two Methods For Aerobic Threshold Determination. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol (57), 420–4.

30. Bangsbo, J. (1994). Energy Demands In Competitive Soccer. Journal Of Sports Sciences , 12.

31. Bertrand Baron, P. P. (S.D.). La Physiologie De L'exercice. Récupéré Sur Campusport.Univ-Lille2.Fr/Physio/Res/Resspdf.Pdf.

32. Billat, V. (2003). Physiologie Et Métodologie De L'entrainement De La Théorie À La Pratique (Éd. 2e Édition). Bruxelles: De Boeck.

33. Bodner M.E., R. E. (2000). A Review Of The Concept Of The Heart Rate Deflection Point. Sports Med (30), 31–46.
34. Brikci. (1995). Physiologie Appliquée Aux Activités Physiques Et Sportives. Edition Abada.
35. Cazorla G, L. L. (1993). Comment Évaluer Et Développer Vos Capacités Aérobies.Epreuves De Course Navette Et Épreuve Vameval. Eds AREAPS.
36. CONCONI, F. E. (1982). Determination Of The Anaerobic Threshold By A Non-Invasive Field Test In Runners. Journal Of Applied Physiology (52), 869-873.
37. Daniel G. Carey, G. J. (2014). A Comparison Of Different Heart Rate Deflection Methods To Predict The Anaerobic Threshold. European Journal Of Sport Science , 5 (8), 315-323.
38. Dellel, A. (2008). De L'entrainement À La Performence En Football. Bruxelles: Groupe De Boek.
39. Doust, A. M. (2010). The Conconi Test Is Not Valid For Estimation Of The Lactate Turnpoint In Runners. Journal Of Sports Sciences , 4 (15), 385-394.
40. Farrel, P. W. (1979). Plasma Lactate Accumulation And Distance Running Performance. Med Sci Sports Exer (11), 338-344.
41. G. GRAZZI, I. C. (2005). Protocol For The Conconi Test And Determination Of The Heart Rate Deflection Point. Physiol. Res (54), 473-475.
42. Ghosh, A. K. (2004). ANAEROBIC THRESHOLD: ITS CONCEPT AND ROLE IN ENDURANCE SPORT. Malaysian Journal Of Medical Sciences , 11 (1), 24-36.
43. HARICHAUX.P, M. (2002). Tests D'aptitude Et Tests D'effort:L'evaluation Scientifique De L'aptitude Physique. (Éd. 4e Édition). Paris: Chiron.
44. Hettinger, H. E. (1976). Sportarten Medizal Orbisits Nand Training Sgundlagan Schattower,. New York: Verlage Stuttgart.

45. J.M.Vallier, A. (2000). Détermination Des Seuils Lactiques Et Ventilatoires.Position De La Société Français De Médecine Du Sport. Science & Sports (15), 133-140.
46. J.Meddelli, H. (1989). Apport Des Testes De Laboratoire Au Controle De L'entrainement De Footballeur. Revus Staps.Science Et Technique Des Activités Physique Et Sportives (19).
47. Jack SAVOLDELLI, L. L. (1998). Le Guide Pratique Du Cardio-Training Comprendre Et Pratiquer . Amphora .
48. JAMES A, D. (1985). Anaerobic Threshold:Review Of The Concept And Directions For Future Research. Medicine And Science In Sports And Exercise , 17 (1), 6-18.
49. Kindermann, P. G. (1979). The Significance Of The Aerobic-Anaerobic Transition For The Determination Of Work Load Intensities During Endurance Training. European Journal Of Applied Physiology And Occupational (42), 25-34.
50. Lampert, E. (1998). Erreurs À Ne Pas Commettre Lors De La Réalisation D'un Exercice De Détermination De La Consommation D'oxygène. Science & Sport (13).
51. Léger L, L. J. (1982). Amaximal Multistage 20m Shuttle Run Test To Predict VO2max. Eur.J.Appl.Physio (49), 1-12.
52. Leroux, P. (2006). Planification Et Entrainement Pour Enteindre La Performance. Amphora.
53. Lopez, E. J. (2002). Pruebas De Aptitud Fisica. Barcelona: Editorial Paidotribo.
54. M.Rieu. (1986). Lactatémie Et Exercice Musculaire.Signification Et Analyse Critique Du Concept De "Seuil Aéobie-Anaérobie". Science & Sports (1), 1-23.
55. Mcardle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2006). Essentials Of Exercise Physiology. Lippincott Williams & Wilkins

56. Mcardle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). Exercise Physiology: Nutrition, Energy, And Human Performance. Lippincott Williams & Wilkins
57. Mccaw, S. (1992). Inequality-Implication For Running,Injury Prevention. Sport Medicine.
58. Mole.P, K. J. (1973). Enzymatic Pathways Of Pyruvate Metabolism In Skeletal Muscle:Adaptations To Exercise. Amer.J.Physiol , 244, 50-54.
59. P.Rochcongar, H. (2009). Médecine Du Sport Pour Le Praticien (Éd. 4e Édition). Paris: Elsevier Masson.
60. Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2013). Exercise Physiology For Health Fitness And Performance. Lippincott Williams & Wilkins
61. Reiss, D. P. (2017). La Bible De La Préparation Physique: Le Guide Scientifique Et Pratique Pour Tous. Editions Amphora.
62. Saltin, B, B.Jansson, C.Gollnick, & And, B. (1971). The Nature Of The Training Reponse. Plenum Press , 96, 289-305.
63. Sjodin, B. A. (1981). Onset Of Blood Lactate. Int.J. Sports Med (2), 23-26.
64. Stegmann H., K. W. (1981). Lactate Kinetics And Individual Anaerobic Threshold. Int. J. Sports Med , 3 (2), 160-165.
65. TOKMAKIDIS, L. L. (1987). Validité Externe De La Méthode De Conconi Pour Déterminer Le Seuil Anaérobie En Fonction De La Fréquence Cardiaque Lors D'efforts Triangulaires. Science & Sports (2), 309-310.
66. Turpin, B. (2002). Préparation Et Entrainement Du Footballeur (Éd. 1). Paris: Amphora.
67. Wasserman K., W. B. (1973). Anaerobic Threshold And Respiratory Gas Exchange During Exercise. J. Appl. Physiol. (35), 236–243.
68. Wesserman K, E. A. (1984). The Anaerobic Threshold Meusurement To Evaluate Exercise Performance. Am.Resp.Dis (129), 535-540.
69. Wilmore.J, C. (2004). Physiology Of Sport And Exercise (Éd. 3e Édition). Champaign: IL:Human Kinetics.