جامعة العربي بن مهيدي -أم البواقي-
معهد علوم و تقنيات النشاطات البدنية و الرياضية

مطبوعة دروس : فزيولوجيا الجهد البدني

السنة ثانية ليسانس

من إعداد الأستاذ: درويش محمد

فهرس المحتويات

المحور رقم (01) : تكيفات الجهاز القلبي الوعائي للجهد البدني Les adaptations cardiovasculaires à l'effort physique		
الرقم		الصفحة
1	استجابة الجهاز القلبي الوعائي للجهد البدني	01
1-1	النبض القلبي	01
1-1-1	النبض القلبي في الراحة	01
2-1-1	النبض القلبي للتمرين	01
3-1-1	تحديد قيمة النبض القلبي الأقصى	02
2-1	حجم الدفع القلبي	03
1-2-1	زيادة حجم الدفع القلبي عند أداء التمرينات البدنية	04
2-2-1	آلية الزيادة في حجم الدفع القلبي	04
3-1	حجم الضربة	05
4-1	تدفق الدم	06
5-1	الضغط الشرياني	08
1-5-1	الضغط الشرياني عند التمرينات ذات الوتيرة المستقرة	09
2-5-1	تأثير التمرينات الثابتة و الحركية للقوة العضلية على الضغط الشرياني	11
6-1	الدم	12
1-6-1	محتوى الأكسجين	12
2-6-1	الحجم البلازمي	12
-2	تكيفات وتحولات الجهاز القلبي الوعائي للتدريب الرياضي (الجهد البدني)	13
1-2	حجم وأبعاد القلب	13
2-2	حجم الدفع القلبي	18
3-2	النبض القلبي	20
1-3-2	النبض القلبي في الراحة	20
2-3-2	النبض القلبي في التمرينات البدنية تحت القصوى	20
3-3-2	النبض القلبي الأقصى	21
4-3-2	العلاقة بين النبض القلبي و حجم الدفع القلبي	21
5-3-2	الاسترجاع القلبي	21
6-3-2	النبض القلبي وتدريب القوة	21
4-2	حجم الضربة	22
5-2	تدفق الدم	23
6-2	الضغط الشرياني	24
1-6-2	التكيفات المزمنة للضغط الشرياني عند تمرينات القوة	25
7-2	حجم الدم	27
1-7-2	الحجم البلازمي	27
2-7-2	الكريات الحمراء	28
تكيفات الجهاز العضلي للجهد البدني Adaptation du système musculaire à l'effort		
	مقدمة	30
1	بنية النسيج العضلي	30
1-1	بنية الميوزين (structures myosines):	34
2-1	بنية الأكتين (structures Actines) :	35
2	التقلص العضلي	36
3	العضلة الهيكلية والتمرين البدني	39
1-3	خصائص الألياف العضلية السريعة والبطيئة (FT et ST)	42
1-1-3	أنزيم ATP ase :	42
2-1-3	الشبكة الاندوبلازمية (Le réticulum sarcoplasmique)	42
3-1-3	الوحدات الحركية (Les unités motrices)	42

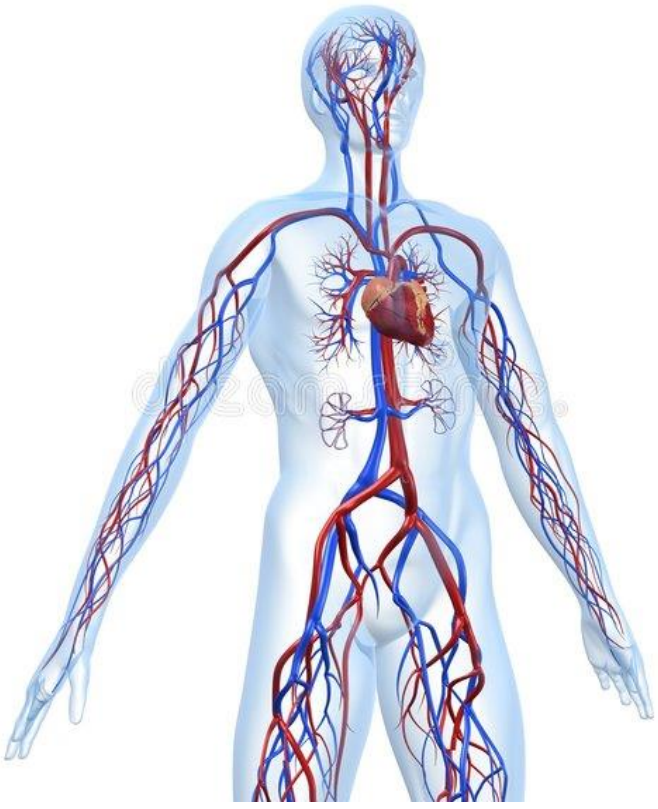
2-3	تحفيز الألياف العضلية (Recrutement des fibres musculaire)	43
3-3	نظام ونسق تحفيز الألياف العضلية ومبادئ الحجم	43
4	التضخم العضلي (L'hypertrophie musculaire)	47
1-4	تضخم وقتي أو انتقالي (Hypertrophie transitoire)	47
2-4	تضخم مستمر و مزمن	48
3-4	تضخم الألياف العضلية	48
1-3-4	يحدث تضخم الألياف العضلية في شكلين متزامنين	49
2-3-4	زيادة تضخم الساركوبلازم	49
3-3-4	تضخم النسيج البيني للألياف العضلية	50
4-3-4	انقسام الألياف العضلية	51
5	الضمور وتوقف النمو العضلي	53
1-5	التوقف وعدم أداء النشاط	53
2-5	التوقف من التدريب	55
6	التكيفات الخاصة بالجهاز العضلي عند التدريب الهوائي	56
1-6	نوعية الألياف	56
2-6	الدورة الشعيرية	57
3-6	محتوى الميوقلوبين	57
4-6	وظيفة الميتوكوندري	59
5-6	الأنزيمات المؤكسدة	59
7	التكيفات الخاصة بالجهاز العضلي عند التدريب اللاهوائي	62
1-7	نوعية الألياف	62
2-7	التكيفات الأيضية للتدريب اللاهوائي	62
1-2-7	تكيفات جهاز ATP-CP	62
2-2-7	تكيفات الجهاز الجليكوليكي	63
3-2-7		63
	تكيفات الجهاز التنفسي للجهد البدني **Adaptation du système respiratoire a l'effort physique**	
	مقدمة	66
1	التهوية الرئوية	66
1-1	الشهيق	67
2-1	الزفير	68
2	الانتشار الحويصلي الشعيري	71
1-2	الحاجز الحويصلي الشعيري	71
3	الضغوط الجزئية للغازات	73
1-3	المبادلات الغازية للأكسجين و أكسيد الكربون بين الحويصلات و الشعيرات الدموية	73
1-1-3	مبادلات الأكسجين	74
2-1-3	مبادلات أكسيد الكربون	75
3-1-3	نقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون	67
4-1-3	نقل ثاني أكسيد الكربون	78
4	المبادلات الغازية العضلية	78
1-4	الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين	78
2-4	العوامل المؤثرة على تزويد واستهلاك الأكسجين	79
3-4	نزع ثاني أكسيد الكربون	79
5	تنظيم عملية التهوية	80
1-5	آليات التنظيم	80
2-5	التهوية في التمرينات البدنية	81
6	المشاكل التنفسية في التمرينات البدنية	82
1-6	عسر التنفس	82
2-6	فرط التهوية	82

المحور الرابع: الآليات الطاقوية **Les filières énergétiques**		
1	المبادئ و الآليات الطاقوية في النشاط البدني و الرياضي	84
1-1	الآلية الطاقوية اللاّهوائية	84
1-1-1	الآلية الطاقوية اللاهوائية اللالبنية	84
2-1-1	الآلية الطاقوية اللاهوائية اللبنية (نظام الجلكزة)	86
2-1	الآلية الطاقوية الهوائية (نظام الأكسجين)	88
1-2-1	القدرة القصوى اللاهوائية اللبنية	89
2-2-1	السعة اللاهوائية اللبنية	89
3-2-1	خصائص الآلية الطاقوية الهوائية	89
2	مدة المجهود	91
3	شدة المجهود	91
4	الدفع الطاقوي اللاهوائي الأقصى:	93
5	الطاقة و المجهود:	93
تكيفات التدريب الرياضي في المرتفعات **Adaptation de l'entrainement en altitude**		
	مقدمة	96
1	الظروف و الشروط المحيطية	96
1-1	الضغط الجوي في المرتفعات	96
2-1	درجة حرارة الهواء في المرتفعات	97
3-1	الإشعاعات الشمسية في المرتفعات	97
2	الاستجابات الفزيولوجية في المرتفعات	97
1-2	الاستجابات التنفسية في المرتفعات	97
1-1-2	التهوية الرئوية	97
2-1-2	الانتشار الرئوي ونقل الأكسجين	98
3-1-2	المبادلات الغازية العضلية	99
4-1-2	الاستهلاك الأقصى للأكسجين	99
2-2	استجابات الجهاز القلبي الوعائي في المرتفعات	100
1-2-2	حجم الدم	100
2-2-2	حجم الضربة	100
3-2-2	ارتفاع الضغط الشرياني الرئوي	101
4-2-2	الاستجابات الأيضية في المرتفعات	101
3	التكيفات الحاصلة في المرتفعات	102
1-3	التكيفات التنفسية	102
2-3	التكيفات الحاصلة في الدم	102
3-3	التكيفات العضلية	104
4-3	تكيفات الجهاز القلبي التنفسي	104
	قائمة المراجع	105

المحور رقم (01) :

تكيفات الجهاز القلبي الوعائي للجهد البدني

Les adaptations cardiovasculaires à l’effort physique



1- استجابة الجهاز القلبي الوعائي للجهد البدني (réponse de système cardiovasculaire a l'effort physique):

عند اختبار مجموعة مكونات الجهاز القلبي الوعائي نجد أنها تتكيف و تتغير مع متطلبات الجهد البدني، حيث تجبر التمرينات البدنية الجهاز القلبي الوعائي بالتأقلم بطريقة سريعة وخاصة ، و هذا ما يسمح باستجابة الجهاز لزيادة الاحتياجات الخاصة، و تحسين قدرات النقل و تتمثل هذه التغيرات في:

- ❖ النبض القلبي.
- ❖ حجم الدفع القلبي .
- ❖ تدفق الدم.
- ❖ الدم .
- ❖ حجم الضربة.
- ❖ الضغط الشرياني.

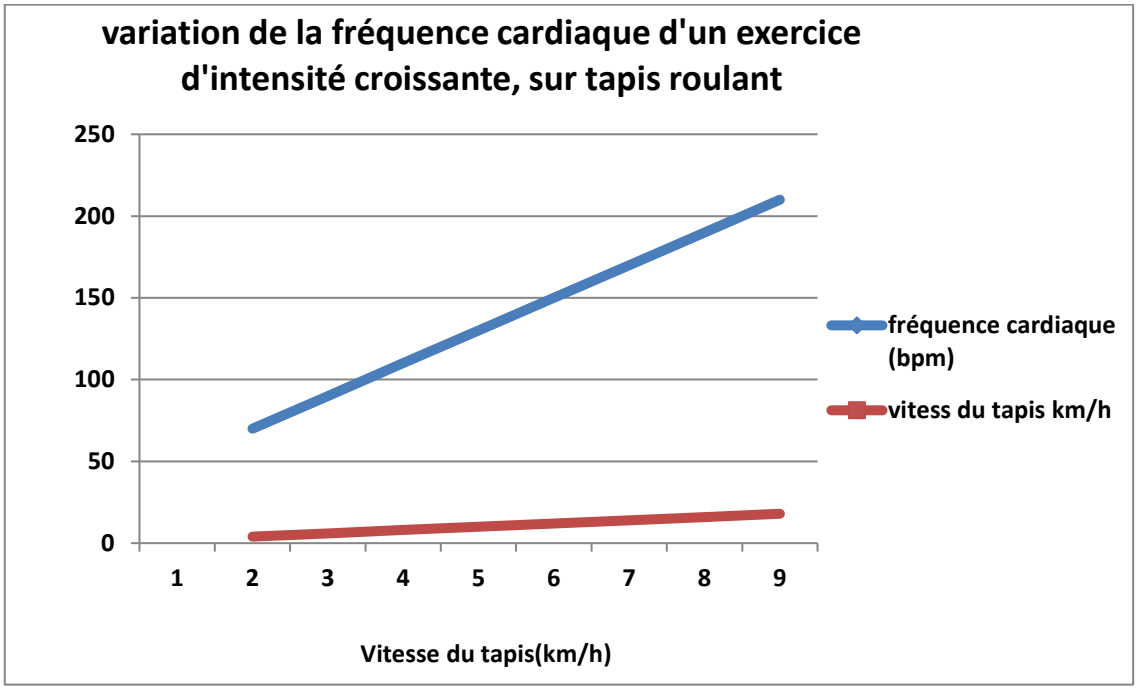
1-1 النبض القلبي (la fréquence cardiaque):

1-1-1 النبض القلبي في الراحة:

يتراوح النبض القلبي في الراحة من 60 إلى 80 ن.د لدى بعض الأشخاص لمتوسطي العمر، وقد يصل إلى 100 ن.د. بالنسبة للرياضيين الأكثر ممارسة للتحمل يتراجع النبض القلبي في الراحة حيث يصل من 28 إلى 40 ن.د، عامة، يمكن أن يتغير النبض القلبي في الراحة بالتأثر بالعوامل المحيطية ، تغيرات درجة حرارة المحيط، و مستوى الارتفاع عن سطح البحر. كما يمكن أن يرتفع النبض القلبي قبل بداية التمرينات البدنية وهذا استجابة لتحرير بعض الوسائط الناقلة (النوردرينالين) عن طريق الجهاز العصبي السمبثاوي أو الأدرينالين عن طريق الغدة الكظرية، ومن أجل قياس النبض القلبي في الراحة يجب أن يكون أثناء الإسترخاء التام و الكلي . (Wilmore et Costil, 2006).

2-1-1 النبض القلبي للتمرين:

أثناء أداء التمرين يرتفع النبض القلبي بسرعة ، مرتبطا ذلك بزيادة الشدة المطبقة ، كما تنخفض نسبة الزيادة عند الوصول إلى النبض القلبي الأقصى (Fcmax) و تعتبر القيمة التي تم قياسها للنبض القلبي الأقصى هي الأكثر أمكانية للوصول إليها أثناء أداء تمرين بشدة قصوى، و يعتبر النبض القلبي الأقصى قيمة ثابثة تتغير من سنة إلى أخرى وينخفض بحوالي 1ن\د كل سنة.



صورة رقم (01): تغيرات النبض القلبي عند تمرين بدني بشدة متصاعدة على بساط الجري .

3-1-1 تحديد قيمة النبض القلبي الأقصى :

نستطيع أن نحدد قيمة النبض القلبي عن طريق معرفة العمر من خلال تطبيق العلاقة التالية :

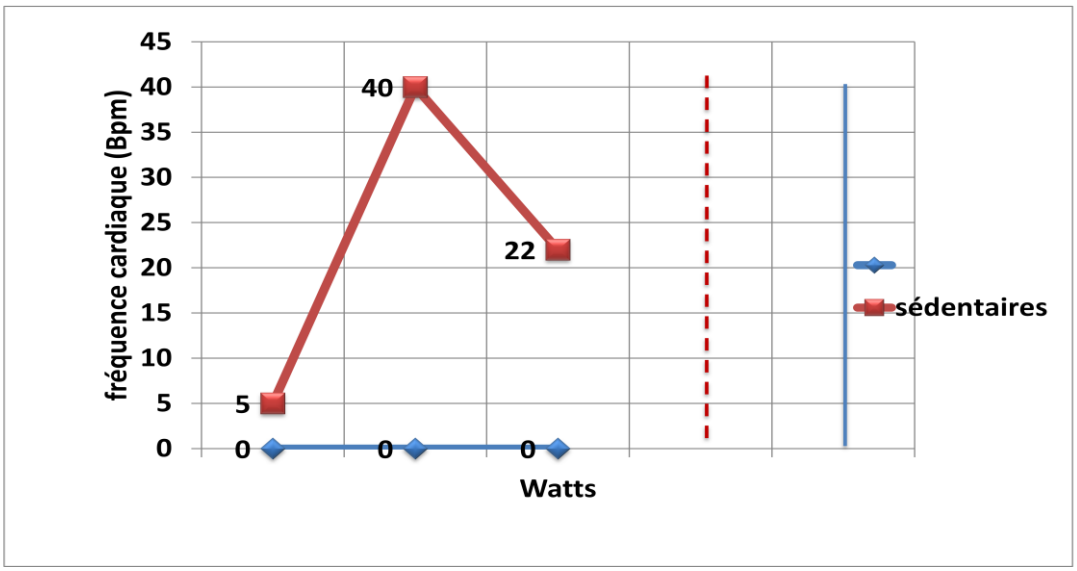
.FC max = 220 – l'age

و في بعض الدراسات الإحصائية دلت على أن الأشخاص الذين تتراوح أعمارهم حوالي 40 سنة تكون نسبة النبض القلبي الأقصى 68 % بين 168 إلى 192 ن\د ± 10 و بنسبة 59% بين 156% إلى 204 ن\د و في هذه الحالة) نجد أن العلاقة السابقة المطبقة تتميز بنسبة خطأ واضحة أدى إلى ظهور العلاقة التالية :

FC max = 208 – (0,7 x âge en années)

هذه العلاقة موجهة خصيصا للأشخاص الذين اقل من 20 سنة و أكثر من 50 سنة. أثناء التمرينات البدنية بشدة ثابتة يرتفع النبض القلبي بطريقة مباشرة وسريعة بعد ذلك يبدأ في الاستقرار عند نبض معين هذا ما يسمى بالنبض القلبي المتوازن، (la fréquence cardiaque d'équilibre ou steady-state)ويعتبر ذلك المستوى المثالي للنبض القلبي من أجل تحقيق احتياجات التمرين (Wilmore et Costil, 2006).

L'augmentation de la fréquence cardiaque avec l'intensité de l'exercice et la consommation d'oxygéne est linéaire. Les deux sujet ont la même fréquence cardiaque maximale mais n'ont pas la même puissance aérobie



صورة رقم (02): ارتفاع النبض القلبي مع شدة التمرين و استهلاك الأكسجين يكون خطيا. كلا الشخصين لديهم نفس النبض القلبي الأقصى ولكن ليس لديهم نفس القدرة الهوائية .

2-1 حجم الدفع القلبي (Volume d'éjection systolique):

يرتفع حجم الدفع القلبي عند أداء التمرينات البدنية و يعتبر هنا رئيسيا و محددا لقدرة التحمل على مستوى الجهاز القلبي الوعائي و هذا بتدخل العوامل التالية:

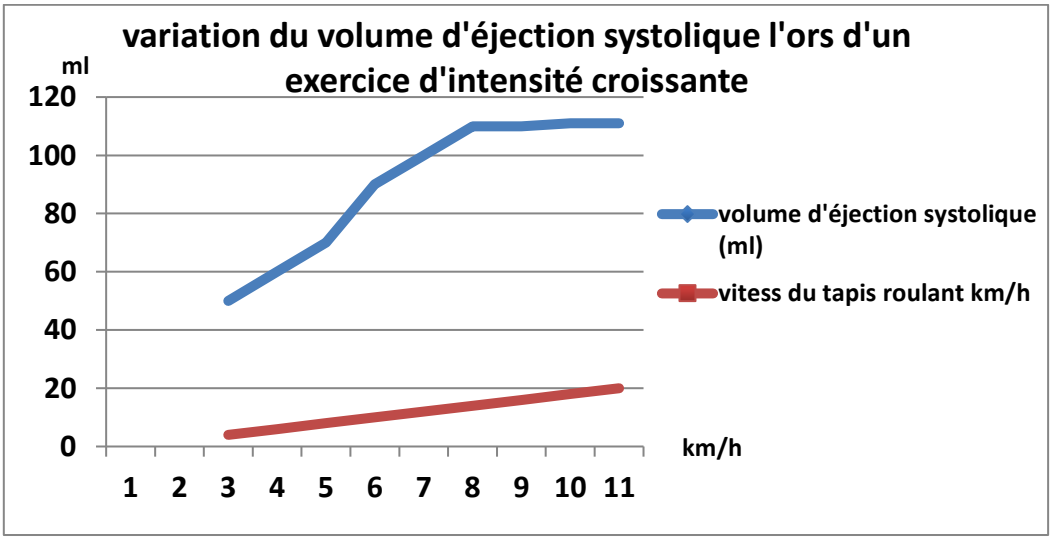
- رجوع الدم الوريدي (retour veineux).
- قدرة التجميع البطينية (La capacité de remplissage ventriculaire).
- قدرة التقلص البطينية (La contractilité ventriculaire).
- الضغط الدموي في شريان الأبهر(La pression sanguine dans l'aorte) .

العاملان الأولان يتمثلان في حجم التجميع البطيني ويقصد بذلك الحجم الأقصى للدم الموجود في البطينين (قبل عملية التفريغ) (pré- charge)، فيما يخص كل من العامل الثالث و الرابع يتمثلان في قدرة البطينين على التفريغ وبالتالي قدرة ضخ الدم من طرف البطينين (بعد التفريغ) (poste-charge) و الضغط المطبق في الجهاز الشرياني، هذه العوامل تنظم مباشرة التغيرات في حجم الدفع القلبي استجابة لزيادة شدة التمرينات (Wilmore et Costil, 2006).

1-2-1 زيادة حجم الدفع القلبي عند أداء التمرينات البدنية (Augmentation du volume d'éjection systolique a l'exercice):

يرتفع حجم الدفع القلبي للدم أثناء أداء التمرينات حيث تكون هذه الزيادة عند وصول شدة الجهد البدني من 30 إلى 60 % من الإمكانيات القصوى ، بحيث يستمر حجم الدفع القلبي بالزيادة وصولا إلى التمرين الأقصى .

- ❖ بالنسبة للأشخاص العاديين لا يقومون بعملية التدريب يصل حجم الدفع القلبي من 50 إلى 60 مل في الراحة و 120 مل كأقصى حد عند أداء التمرينات .
- ❖ أما بالنسبة للأشخاص الأكثر تدريبا للتحمل يرتفع حجم الدفع القلبي و يصل من 80 إلى 110 مل في الراحة و من 160 إلى 200 مل أثناء أداء الجهد البدني.



صورة رقم (03): تغيرات حجم الدفع القلبي أثناء تمرين بدني بشدة متصاعدة على بساط الجري.

2-2-1 آلية الزيادة في حجم الدفع القلبي (Mécanismes d'augmentation du volume d'éjection systolique):

بالنظر إلى قانون (Frank et starlingue) ترتبط زيادة حجم الدفع القلبي على حسب درجة تمدد الجدران البطينية ، حيث أن كل زيادة في قدرة التجميع البطينية(diastole) تؤدي إلى تمديد جدران البطينين، مع قوة التقلص تضخ كميات معتبرة من الدم ، أما الفرضية الثانية تتعلق بزيادة قدرة تقلص الألياف البطينية نظرا للتحفيز العصبي أو زيادة الكاتي كولامين (الادرينالين و النورادرينالين) الدوري مما يسمح بزيادة حجم الدفع القلبي حتى في غياب الزيادة في حجم الدم المجمع (télédiastolique) (Wilmore et Costil, 2006).

نستطيع القول أن قانون Frank et starlingue يتدخل في حالة ما إذا كانت شدة التمرين ضعيفة، أما فيما يخص زيادة قدرة التقلص البطينية تتدخل عند تطبيق التمرينات بشدة عالية . كما نستطيع أن نفسر

نقصان حجم الدم (télédiastolique volume) للبطين الأيسر إلى نقصان زمن التجميع البطيني حيث يصل من 500 ms a 700 في الراحة إلى 150msمن أجل مستوى عال للتمرينات البدنية المطبقة (و ذلك عند نبض من 150 b/m a 200).

من أجل تطبيق قانون (frank- starling) يجب بالطبع أن يكون حجم الدم الواصل إلى القلب مرتفع وبالتالي نتوصل إلى أن رجوع الدم الوريدي يرتفع، هذا التكيف يمكن أن يكون سريع بفضل التحفيز السمبثاوي للجهاز الشرياني (في المناطق الغير نشطة) و الوريدي، من جهة أخرى تقلص العضلات النشطة يضغط على الأوردة المجاورة وبالتالي يحدث تسريع لعملية التفريغ، زيادة عملية التنفس و التغير في الضغط داخل القفص الصدري و داخل البطن يسهل عملية الرجوع الوريدي. ومن خلال هاذين العاملان الأساسيان (زيادة رجوع الدم الوريدي و التقلص البطيني) ينتج عن ذلك زيادة حجم الدفع القلبي (Wilmore et Costil, 2006).

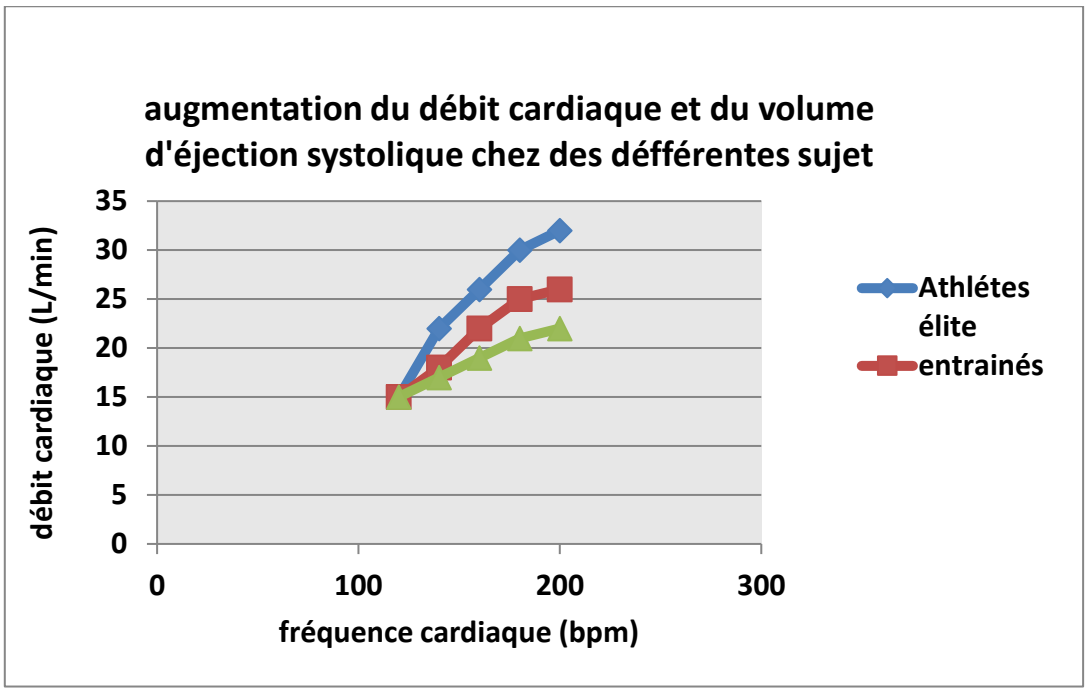
3-1 حجم الضربة (le débit cardiaque) :

حجم الضربة هي ناتج النبض القلبي عن طريق حجم الدفع القلبي حيث يصل حجم الضربة في الراحة حوالي 5 L/min و ترتفع هذه القيمة خطيا كلما زادت شدة التمرينات البدنية المطبقة لتصل إلى (L/min 20) للأشخاص العاديين و (40 L/min) لدى الرياضيين الأكثر تدريبا للتحمل حيث يرتفع حجم الضربة من أجل تغطية الزيادة في احتياجات العضلة للأكسجين .

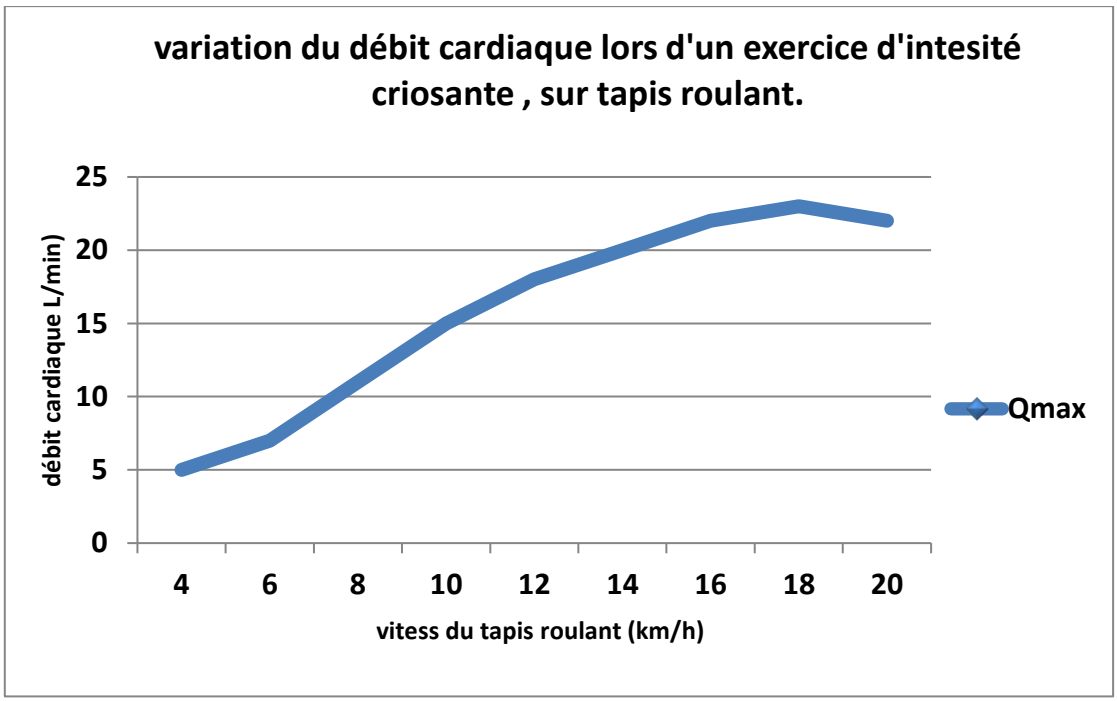
Débit cardiaque= FC de repos x VES
EX: sedentaire ; 70 b/min x 71 mL = 5000 mL
Entrainé : 50b/min x 100 mL = 5000 mL

débit cardiaque (Q)= $\frac{VO_{2\,mL\,.min^{-1}}}{diff\ a-\overline{VO_2}} x100$

EX : (Q) = $\frac{250}{5} x\ 100 = 5000ml/min$



صورة رقم (04): زيادة حجم الضربة و حجم الدفع القلبي لدى مجموعة من الأشخاص .



صورة رقم (05): تغيرات حجم الضربة أثناء تمرين بدني بشدة متصاعدة على بساط الجري.

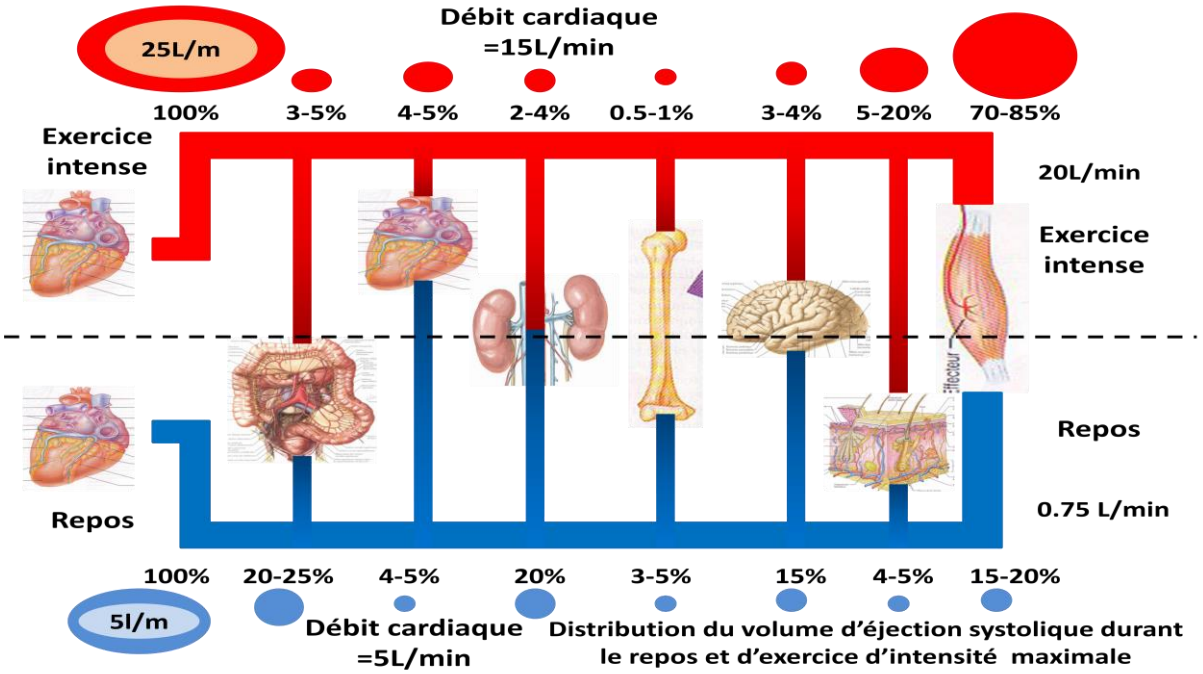
4-1 تدفق الدم (Le débit sanguin):

إن الزيادة في تدفق الدم أثناء أداء التمرين تسمح بإخراج كمية كبيرة من الدم في الجهاز الشرياني و يمكن ملاحظة هذا الحجم على مستوى الأعضاء و العضلات النشطة، حيث يلعب الجهاز العصبي السمبثاوي دورا في تنقل الدم من المواقع الغير نشطة إلى المواقع النشطة وفقا للاحتياجات المتطلبة .

تستقبل العضلات في فترة الراحة من 15 a 20% من تدفق الدم الكلي وبإمكان العضلات ان تستقبلك كمية من الدم المتدفق 80 a 85% أثناء أداء تمرين بدني عال الشدة . في حالة ارتفاع درجة حرارة الإنسان الداخلية استجابة للتمرينات البدنية أو التوضع في مواقع حارة، في هذه الحالة يوزع الدم نحو البشرة من أجل المساعدة للتخلص من الحرارة ، وهذا يخفض من حجم الدم المخصص للعضلات النشطة و بالتالي التفوق و المنافسات المنجزة في أجواء حارة.

تزايد احتياجات العضلة للأكسجين و المواد الغذائية يرتفع عند بداية التمرينات، وهذا يتطلب زيادة تدفق الدم الموضعي في المواقع النشطة، على مستوى الأحشاء تكون هذه المنطقة أقل نشاطا أثناء التمرينات، تحفيز ألياف الجهاز السمبثاوي ينتج عنه توسع الأوعية الموضعي وهذا يحفز إعادة توزيع الدم نحو المواقع النشطة، على العكس في العضلات ألياف الجهاز السمبثاوي التي تقوم بتضييق الأوعية تثبط، بينما ذات التحفيز التوسيعي تنشط ، كل هذه الآليات تؤدي إلى زيادة تدفق الدم في العضلات النشطة (Wilmore et Costil, 2006).

أثناء التمرينات المطولة أو المنجزة في درجات حرارة مرتفعة، التخلص من الحرارة يتم عن طريق عملية التعرق وهذا يخفض من حجم البلازمي للدم، انخفاض الحجم البلازمي ينتج عنه إعادة توزيع الكتلة الدموية نحو البشرة وهذا يخفض من الرجوع الوريدي وبالتالي حجم التجميع الدياستولي. حجم الدفع القلبي ينخفض أيضا. من أجل المحافظة على حجم الضربة المهم من أجل مواصلة الجهد يعمل القلب على معادلة انخفاض حجم الدفع القلبي بزيادة النبض القلبي.



صورة رقم (06): توزيع حجم الدفع القلبي في الراحة وأثناء التمرينات البدنية عند شدة قصوى.

5-1 الضغط الشرياني (La pression artérielle):

يمكن تسجيل قيمتين للضغط الشرياني أولهما قصوى أو السيستولية والقيمة الثانية المنخفضة أو الدياستولية، وفي تمرينات التحمل ترتفع قيمة الضغط الشرياني السيستولي تدريجيا بزيادة شدة الجهد البدني حيث يتجاوز الضغط 120 مم زئبقي في فترة الراحة وأكثر من 200 مم زئبقي أثناء أداء الجهد البدني العال الشدة وقد تسجل في بعض الحالات القليلة جدا أثناء التمرينات القصوى الهوائية قيم للضغط تصل من 240 إلى 250 مم زئبقي للاعبين الأكثر تدريبا . بالنسبة للضغط الدياستولي لدى الشخص البالغ في الراحة يصل إلى 80 مم زئبقي نظرا لأن فترة الدياستول أطول من فترة السيستول (Wilmore et Costil, 2006).

كما يرتفع الضغط الشرياني تدريجيا مع شدة التمرينات وتفسر الزيادة في الضغط الشرياني السيستولي أساسا إلى زيادة حجم الضربة وهذا ما يسمح بتطبيق ضغط سريع في جميع الجهاز الدوري وصولا إلى الشعيرات المحيطية والأنسجة. على العكس الضغط الشرياني الدياستولي يتغير بصفة قليلة جدا حتى عند ممارسة النشاط البدني الهوائي المتزايد.

أثناء التمرينات التحت قصوى يصل الضغط الشرياني إلى مستوى التوازن حيث ترتفع هذه القيمة كلما زادت شدة التمرينات، في حالة التمرينات المطولة الضغط الشرياني السيستولي يمكن أن ينخفض قليلا بينما الضغط الشرياني الدياستولي لا يتغير، هذا الانخفاض في الضغط الشرياني السيستولي يفسر إلى زيادة توسع الشرينات الموضعية العضلية وهذا يؤدي إلى انخفاض مقاومة سريان الدم.

يصاحب تمرينات القوة زيادة كبيرة في الضغط الشرياني حيث يمكن أن تتجاوز القيم 480\350 مم زئبقي، في هذا النوع من التمرينات، ينجز الأشخاص كثيرا (manœuvre de valsalva) الذي يحتوي على الزفير الإرادي، الفم، الأنف، ولسان المزمار مغلق،هذه العملية تهدف إلى زيادة الضغط داخل القفص الصدري و الضغط الشرياني في باقي أنحاء الجسم، نظرا لأن دوران الدم يجب أن يقاوم الضغط الناتج من القفص الصدري .

PAs (mmHg)= 147+0,333x Pmax(watts)+ 0,31x âge (ans)

الضغط الشرياني المتوسط (Pam) يكون منخفض قليلا عن متوسط قيم الضغط السيستولي، حيث أن قيم الضغط الشرياني المتوسط للشخص البالغ في الراحة يصل إلى حوالي 93مم ز، هذا الضغط يتمثل في قياس القوة المتوسطة التي يطبقها الدم على جدران الشرايين أثناء الدورة القلبية و يمكن أن نقوم بحسابه وفق العلاقة التالية :

Pam = P diastolique+ [0,333(P systolique – P diastolique)]

بالنسبة لشخص لديه قيم للضغط الشرياني الدياستولي والسيستولي على التوالي 89 مم ز و 127 مم ز . الضغط الشرياني المتوسط يساوي:

Pam = 89 + [0,333 (127 – 89)] = 102 mmHg

Débit cardique = pression sanguine ÷ résistance périphérique Totale

résistance périphérique totale= pression sanguine ÷ débit cardiaque

على سبيل المثال من أجل شخص في الراحة حجم الضربة يصل إلى 5 ل\د، الضغط الشرياني السيستولي 120مم ز و الدياستولي 80 مم ز و الضغط المتوسط 93,3 مم ز و بالتالي نستطيع استخدام هذه القيم في العملية الحسابية الخاصة بالمقاومة المحيطية الكلية .

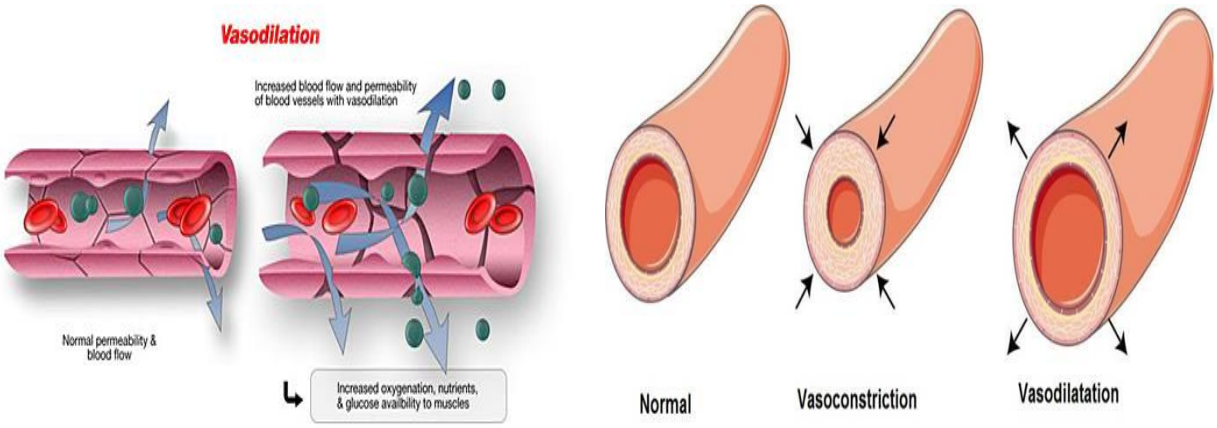
Résistance périphérique totale= 93,3mmHg ÷ 5 L/min = 18,7 mm Hg

1-5-1 الضغط الشرياني عند التمرينات ذات الوتيرة المستقرة :

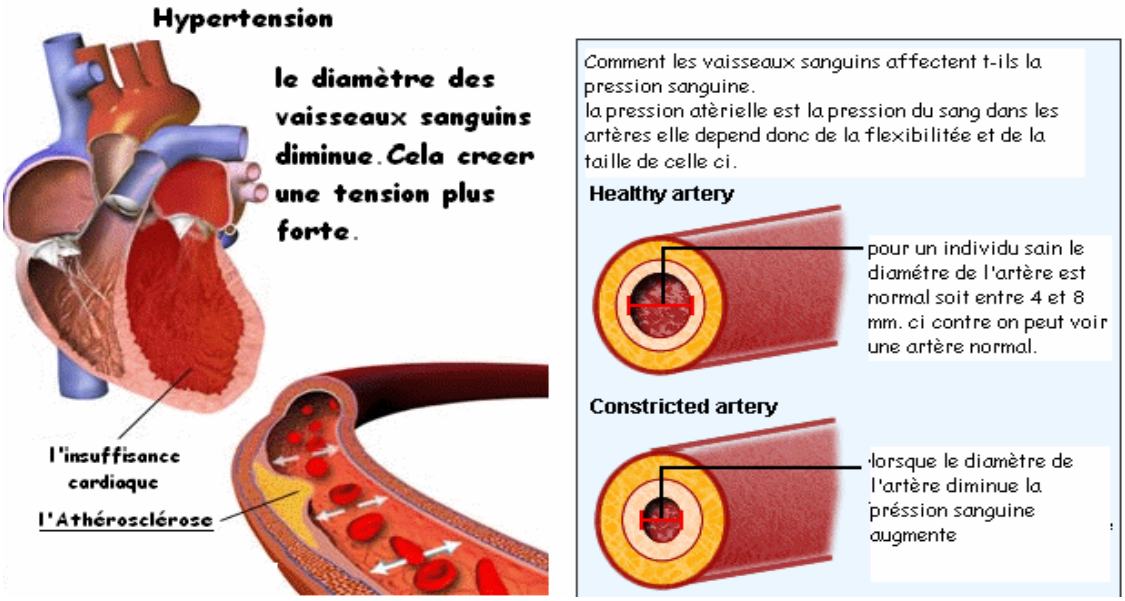
أثناء النشاطات البدنية الإيقاعية مثل الجري، السباحة، الدراجات، توسع الأوعية الدموية في العضلات النشطة يخفض من المقاومة المحيطية الكلية و هذا يرفع من تدفق الدم على مستوى الأوعية الدموية المحيطية. التناوب بين التقلص و الاسترخاء العضلي ينتج عنه قوة دفع مهمة للدم في الأوعية الدموية و الرجوع إلى القلب.

ارتفاع تدفق الدم أثناء التمرينات المستقرة بشدة متوسطة يؤدي الى الرفع السريع من ضغط الدم خلال الدقائق الأولى من التمرين ليستقر الضغط عند 140- 160 مم . عند استمرار التمرين الضغط الدموي السيستولي يمكن أن ينخفض تدريجيا وهذا راجع إلى استمرار توسع الشرينات حيث ينتج عن ذلك انخفاض في المقاومة المحيطية

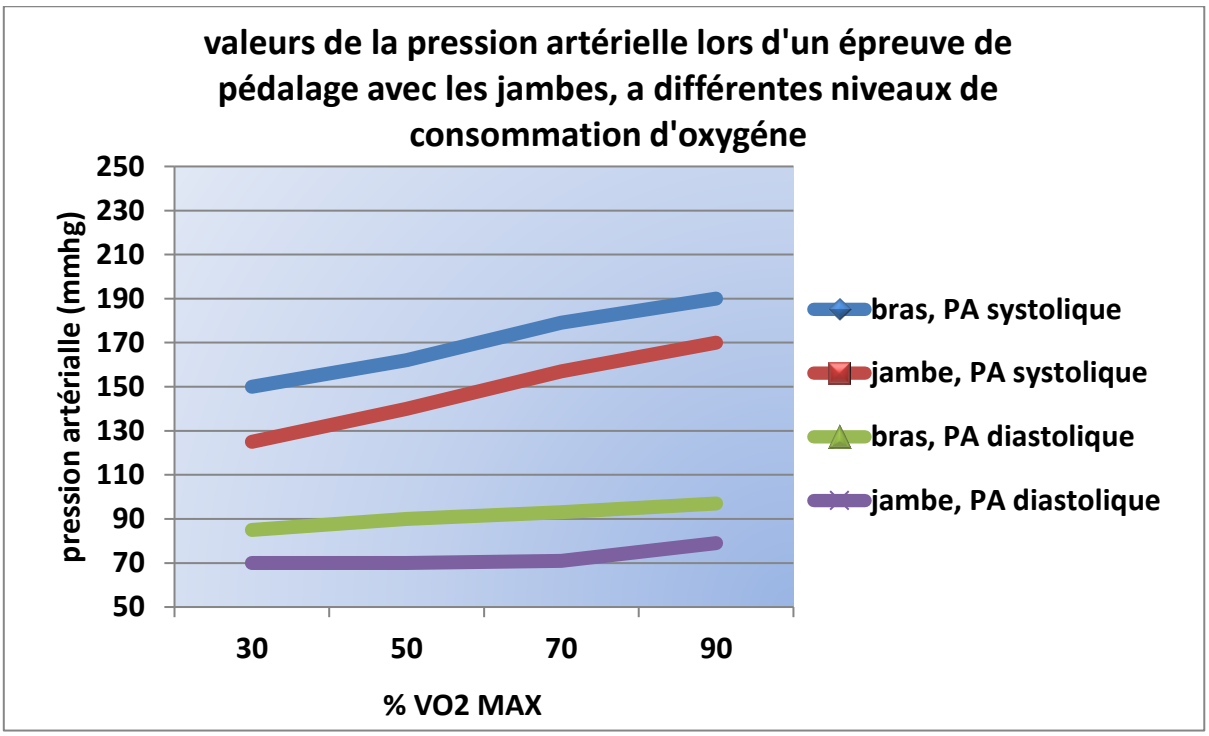
صورة رقم (07): طريقة قياس الضغط الشرياني السيتولي و الدياستولي.



صورة رقم (08): اتساع و تضييق قطر الأوعية الدموية و تسرب الكريات الدموية البيضاء .



صورة رقم (09): تغيرات الضغط الشرياني في حالة توسيع أو تضييق قطر الشريان. عند انخفاض قطر الشريان ضغط الدم يرتفع.



صورة رقم (10): قيمة الضغط الشرياني أثناء اختبار التدوير على دراجة إرجومترية بالساقين، عند مستويات مختلفة من استهلاك الأكسجين.

2-5-1 تأثير التمرينات الثابتة و الحركية للقوة العضلية على الضغط الشرياني :

تتطلب تمرينات القوة العضلية استجابة و تعديل سريع للجهاز القلبي الوعائي (الضغط الشرياني X النبض القلبي) و هذا يؤدي إلى ارتفاع في قيم الضغط الشرياني عند مستويات قياسية و هذا بتناسب مع الكتلة العضلية المطبقة و نوعية التقلص العضلي، هذه التغيرات في الجهاز القلبي الوعائي ترجع إلى التنبيه الكبير للجهاز القلبي الوعائي عن طريق المناطق النشطة للقشرة الحركية و ردود الفعل المحيطية للعضلات المستخدمة .

جدول رقم (01): مقارنة الضغط الشرياني السيستولي و الدياستولي لدى 7 أشخاص ينفذون مجموعة من الحركات الإيزومترية و تطوير الذراع بحمولات و ضد مقاومة هيدروليكية

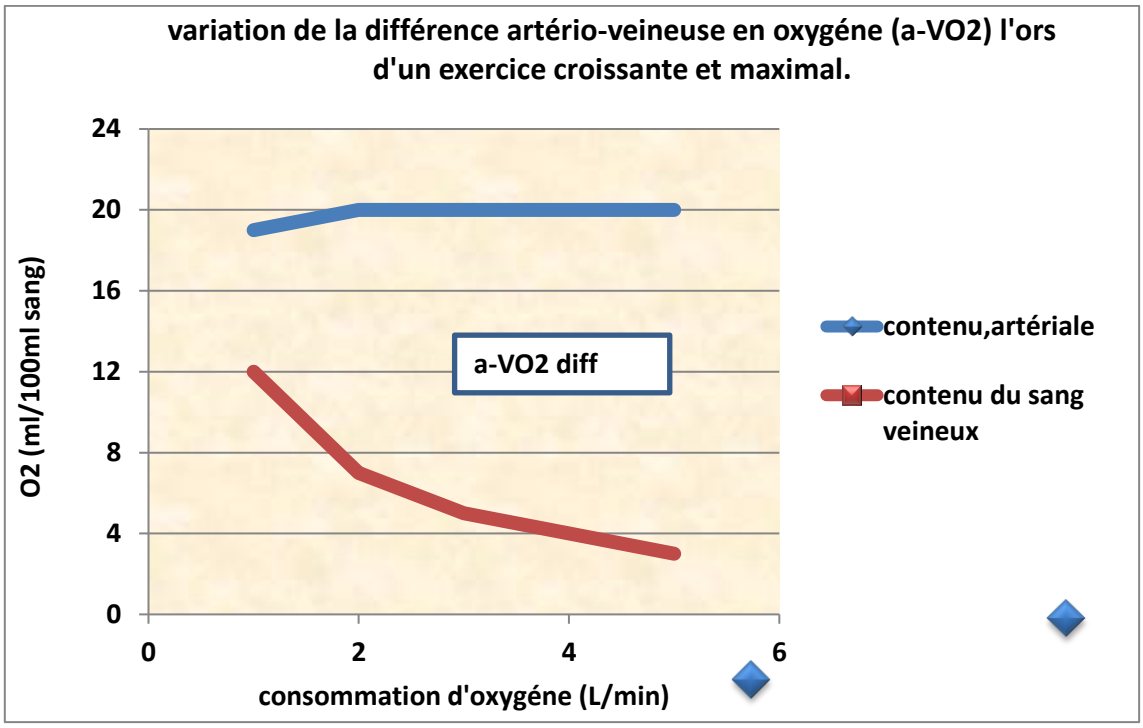
Conclusion	Développé de bras isométrique % CMV				Des haltères maximum isométrique % CMV		Résistance hydraulique développée	
	25	50	75	100	25	50	Lente	Rapide
Pression systolique	**172**	**179**	**200**	**225**	**169**	**232**	**237**	**245**
Pression diastolique	**106**	**116**	**135**	**156**	**104**	**154**	**101**	**160**

6-1 الدم (le sang):

جميع التحولات التي تحدث على مستوى الجهاز القلبي الوعائي تسمح بزيادة و الرفع من محتوى الدم في العضلات النشطة و هذا ما يفسر بتحسين المبادلات بين الوسطين الدم و العضلات.

1-6-1 محتوى الأكسجين :

في الراحة يحتوي الدم على نسبة أكسجين تقدر ب 20 مل في كل 100 مل للجهاز الشرياني و 14 مل في كل 100 مل في الجهاز الوريدي و بالتالي فإن الفرق بين القيمتين هو (20 مل-14مل = 6 مل) مشكلة الفرق الشرياني الوريدي (a-VO2) هذه القيمة تمثل نسبة الأكسجين المستخدم من طرف الأنسجة .و أثناء أداء التمرينات البدنية ترتفع هذه النسبة تدريجيا بزيادة شدة الجهد البدني حيث تقترب قيمة الأكسجين في الدم الوريدي من 0، وقد ينخفض في بعض الحالات ليقترب من 2إلى 4 مل في كل 100 مل من الدم الوريدي و الأذين الأيمن (Wilmore et Costil, 2006).



صورة رقم (11): تغير الفرق الشرياني -الوريدي للأكسجين ($a\text{-}VO_2$) أثناء تمرين بدني بشدة متصاعدة و قصوى.

2-6-1 الحجم البلازمي :

عند بداية التمرينات يوجد هناك تسرب للسائل البلازمي نحو الفراغ الموجود بين الخلايا، حيث يوجد عاملان محتملان أولهما زيادة الضغط الشرياني مع الضغط المائي السكوني (التوازن وضغط الماء) (hydrostatique) الذي يطبق على جدران الأوعية الدموية، يفرض الضغط المائي السكوني خروج

الماء من الوسط الدموي نحو الوسط البين خلوي. العامل الثاني يتمثل في تراكم المواد الأيضية في العضلات النشطة وهذا يرفع من الضغط الاسموزي وينتج نداء للماء للخروج من الوسط الدموي نحو الوسط العضلي.

أثناء التمرينات المطولة الحجم البلازمي يمكن أن ينخفض من 10 إلى 15%. نفس الشيء يحدث أثناء التمرينات العالية الشدة و القصيرة بانخفاض حوالي 15 إلى 20% وأثناء تمرينات القوة انخفاض الحجم البلازمي يكون بتناسب مع شدة الجهد بحوالي 10 إلى 15 %. في حالة التعرق فقدان الحجم البلازمي يكون معتبر، ينخفض السائل العرقي و السائل بين الخلايا بسبب التعرق هذا يؤدي إلى ارتفاع الضغط الاسموزي في الوسط البين خلوي وهذا يؤدي إلى انتقال الماء من الوسط البلازمي نحو الوسط البين خلوي (Wilmore et Costil, 2006).

انخفاض الحجم البلازمي للدم يؤدي إلى زيادة لزوجة الدم وهذا يخفض من حجم الضربة، وبالتالي نقص في نقل الأكسجين نظرا لتجاوز حجم مكداس الدم 60%، مجموع هذه العوامل يؤثر على الإنجاز الرياضي تحت هذه الظروف. عند النشاطات البدنية القصيرة المدة لدقائق أو أقل، حركة الماء أو ظاهرة التعديل الحراري أقل أهمية. بينما في حالة التمرينات المطولة مثل المراطون، لا يؤثر انخفاض الحجم البلازمي على الإنجاز الرياضي بل يتعدى ذلك بخطر على الحياة، أي وقوع حادث الموت بسبب جفاف الجسم أو ارتفاع درجة الحرارة الداخلية .

2- تكيفات و تحولات الجهاز القلبي الوعائي للتدريب الرياضي (الجهد البدني) (Les adaptation du système cardiovasculaire à l'effort physique):

ينتج من خلال التدريب الرياضي مجموعة من التكيفات للجهاز القلبي الوعائي و المتعلقة بالعناصر التالية:

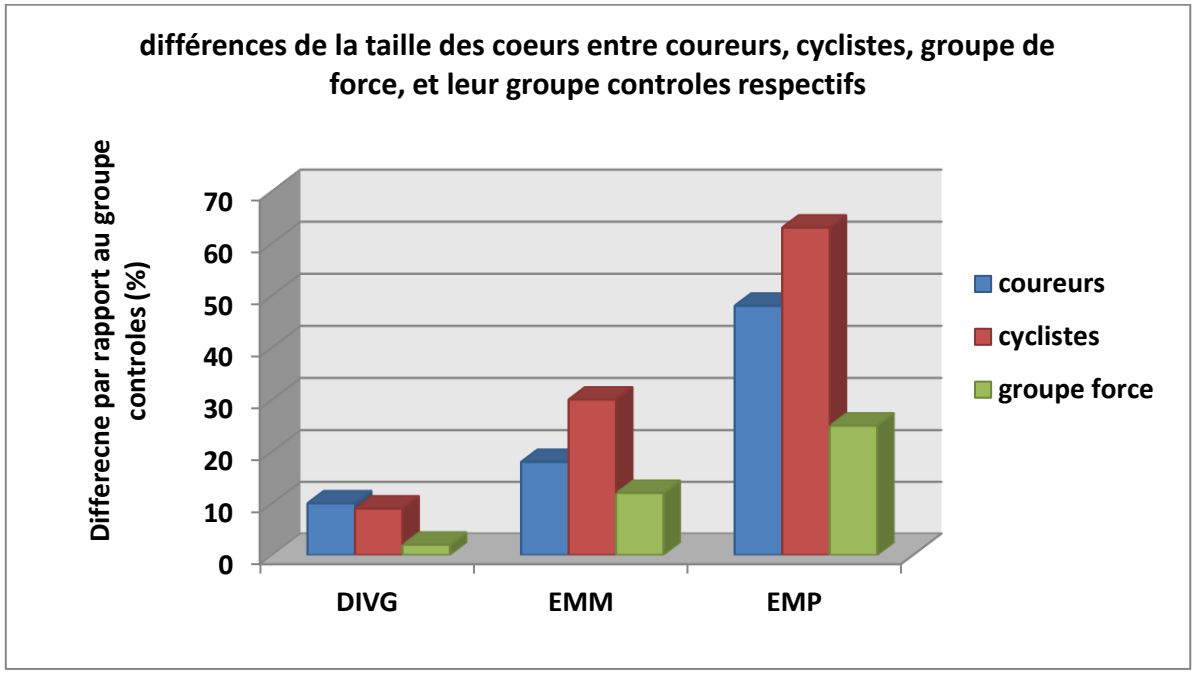
- حجم القلب (Les dimensions du cœur).
- حجم الدفع القلبي (Volume d'éjection systolique).
- النبض القلبي (La fréquence cardiaque).
- حجم الضربة (Débit cardiaque).
- - تدفق الدم (Débit sanguin).
- الضغط الشرياني (La pression artérielle).
- حجم الدم (Volume sanguin).

1-2 حجم القلب (Les dimensions cardiaque):

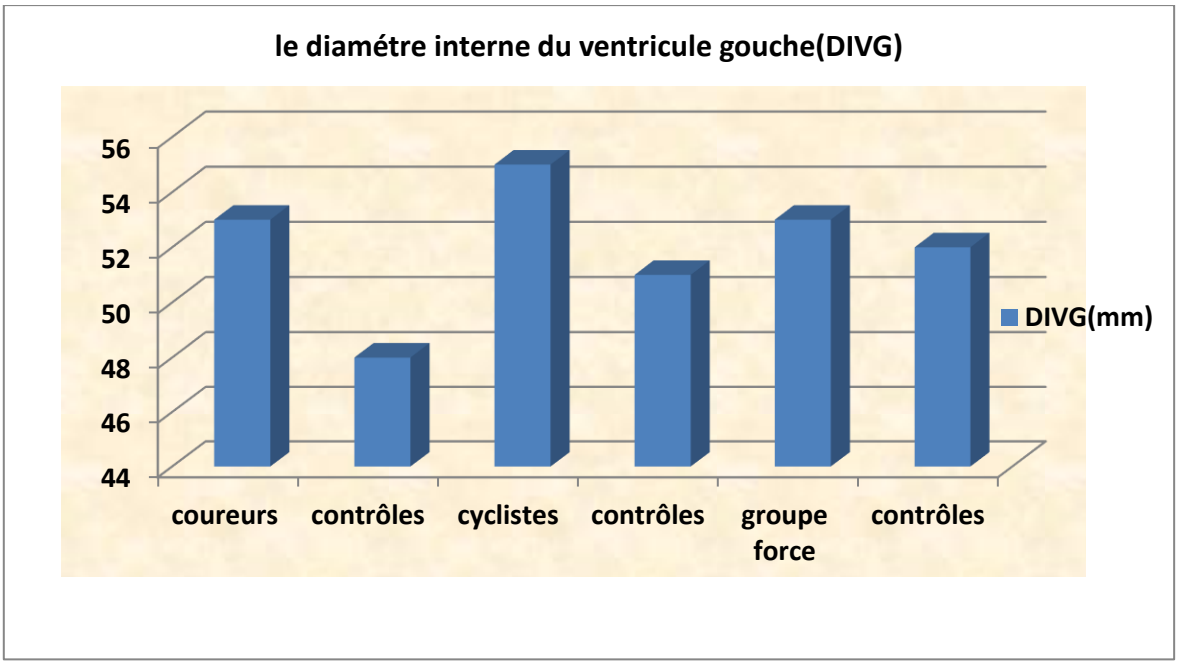
استجابة لزيادة حمولة العمل أثناء التدريب الهوائي يؤدي ذلك إلى زيادة كتلة و حجم القلب ، وهذا من خلال سمك جدار القلب وزيادة اتساع تجويف البطين الأيسر، ما يفسر ذلك بزيادة تضخم عضلة القلب، هذه الزيادة، ناتجة عن التدريب المزمن للتحمل حيث يحدث عنه تضخم عضلي قلبي، ولا يعتبر هذا التضخم

مرضي لأنه ناتج من التدريب وهذا ما يسمى بقلب الرياضي (cœur d'Athlète) ، كل هذه التحولات ترجع إلى زيادة الحمل التدريبي المطبق على القلب مستوجبا ذلك على القلب أن يطبق عملية تقلص معتبرة من أجل ضغط شرياني يصل من 350 إلى 480 مم زئبقي أثناء تدريب القوة.

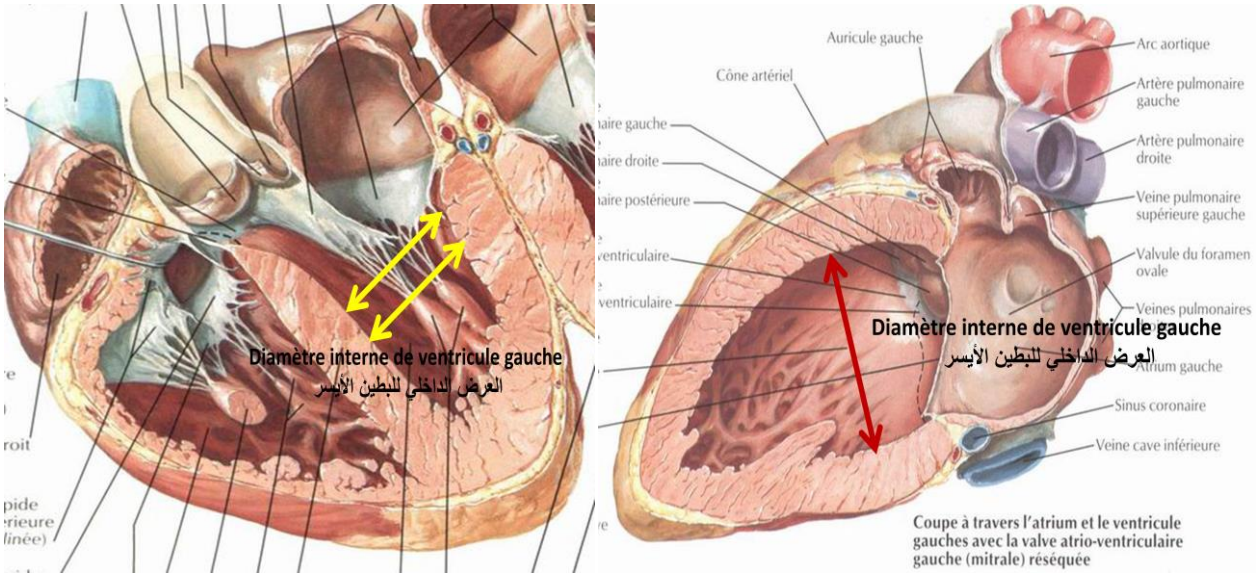
و بالتالي فإن الزيادة في الكتلة القلبية هي زيادة ناتجة عن تدريب القوة وفي نفس الوقت الزيادة في تجويف البطين الأيسر ناتجة عن التدريب الهوائي مفسرين ذلك بزيادة الحجم الهيولي للدم مما يؤدي إلى زيادة حجم الدم المجمع في القلب (volume diastolique).



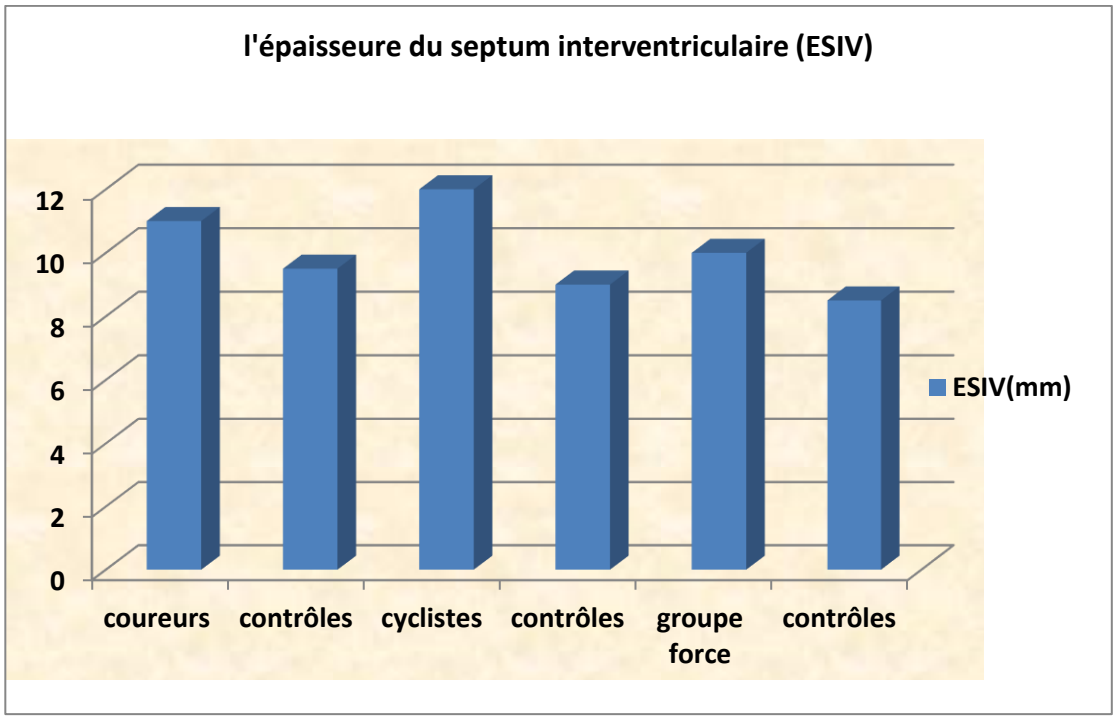
صورة رقم (12): الفرق في حجم القلب بين رياضيي العدو، الدراجات و مجموعة خاصة بتدريب القوة.



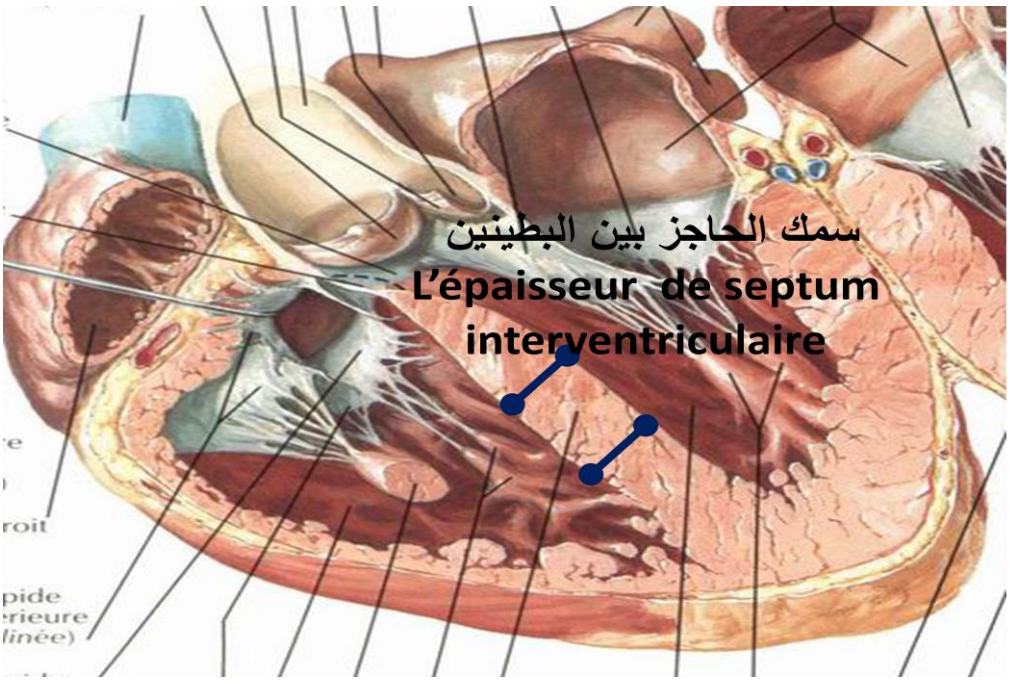
صورة رقم (13): العرض الداخلي للبطين الأيسر (DIVG) لدى عدائي المسافات الطويلة، الدراجات، و مجموعة تدريب القوة العضلية مقارنة مع مجموعات شاهدة.



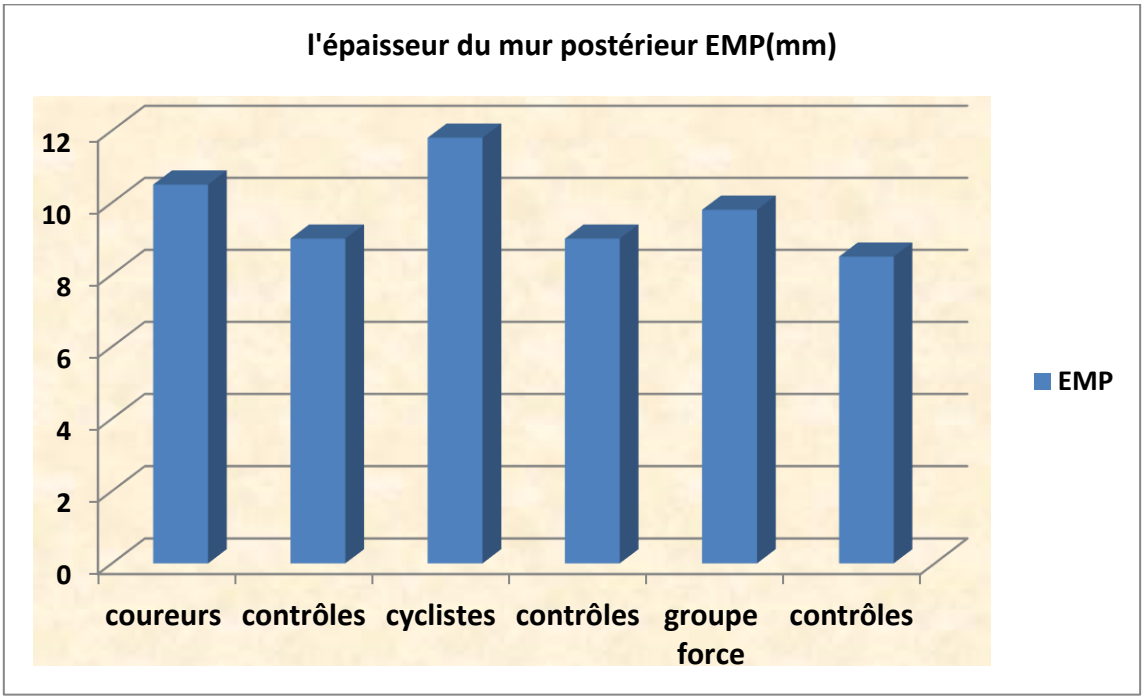
صورة رقم (14): زيادة اتساع القطر الداخلي للبطين الأيسر.



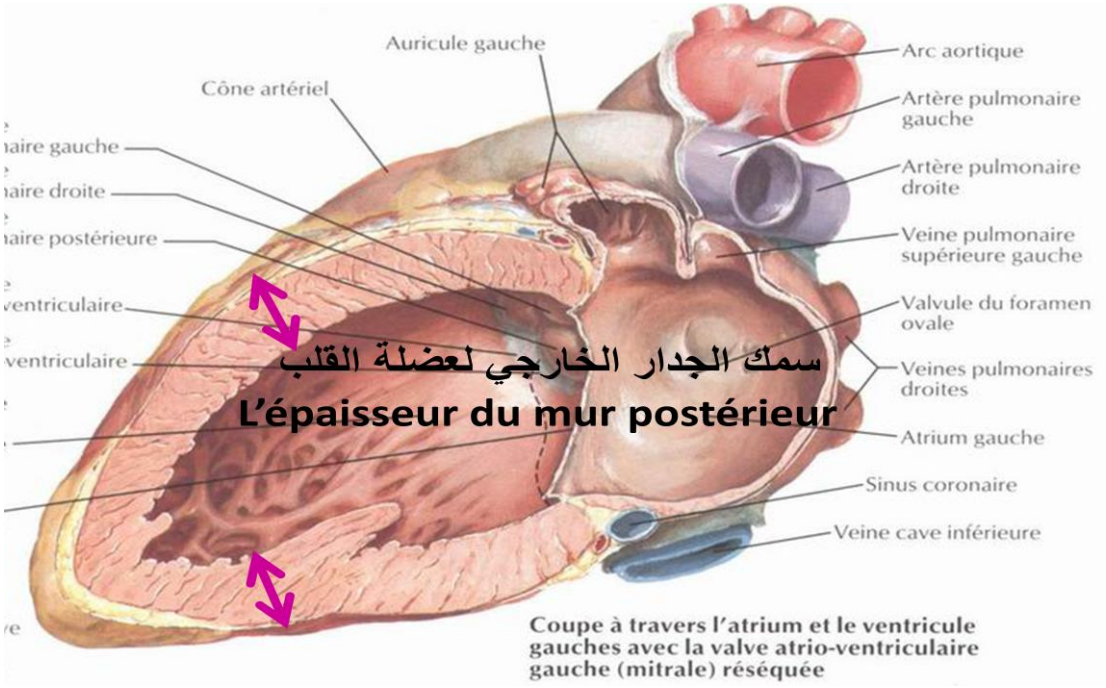
صورة رقم (15): زيادة السمك الداخلي للجدار الفاصل بين البطينين (ESIV)) لدى عدائي المسافات الطويلة، الدراجات، و مجموعة تدريب القوة العضلية مقارنة مع مجموعات شاهدة.



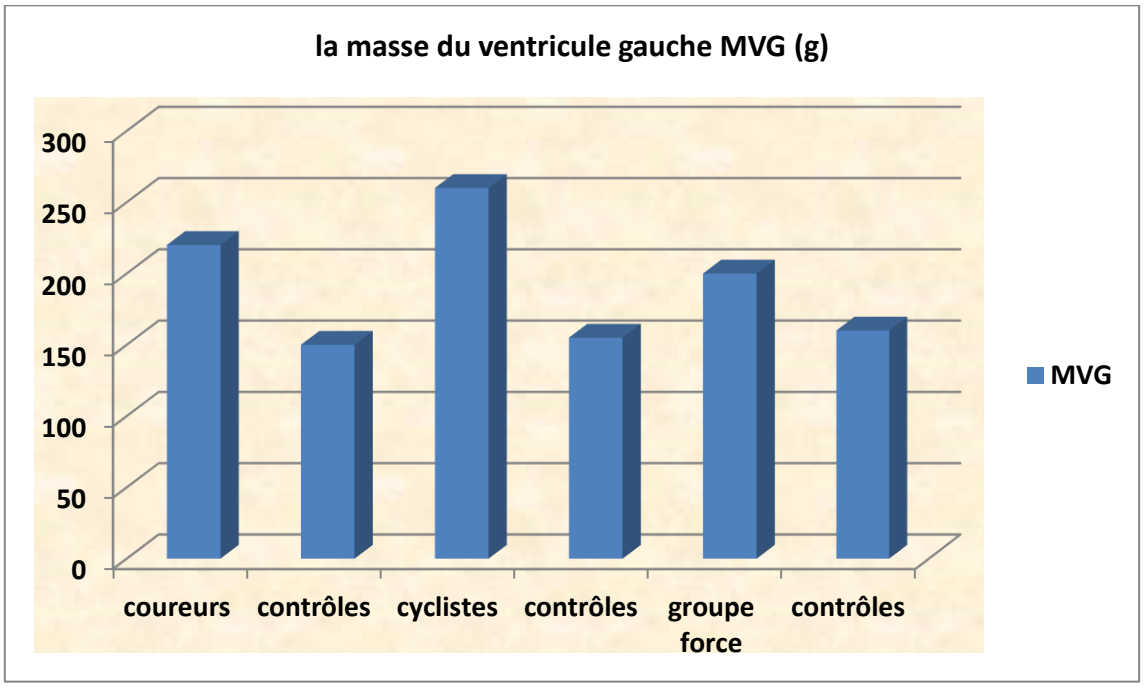
صورة رقم (16): زيادة سمك الجدار الفاصل بين البطينين.



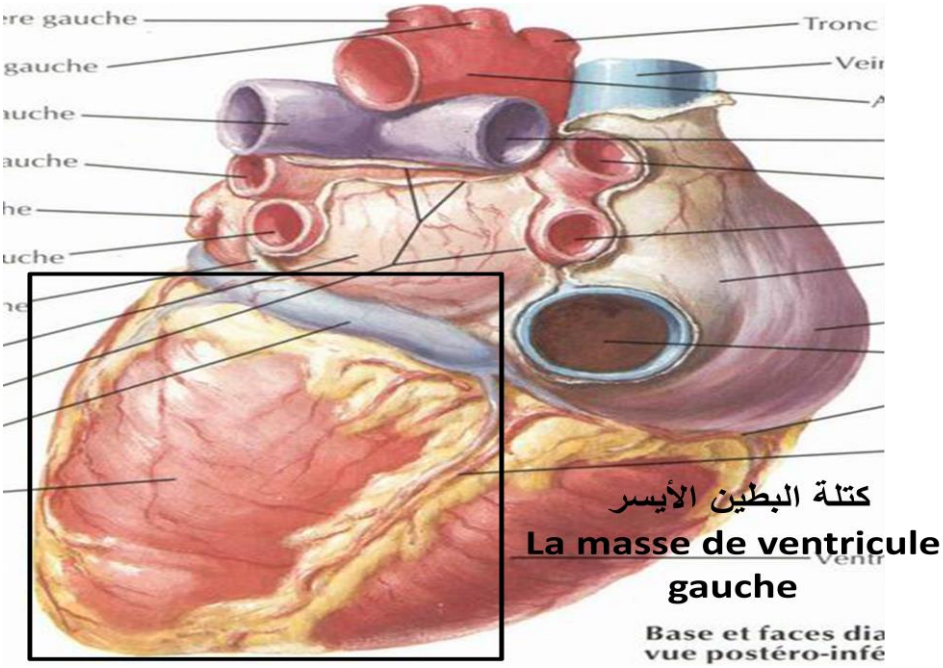
صورة رقم (17): زيادة سمك الجدار الخارجي لعضلة القلب (EMP) لدى عدائي المسافات الطويلة، الدراجات، و مجموعة تدريب القوة العضلية مقارنة مع مجموعات شاهدة.



صورة رقم (18): زيادة سمك الجدار الخارجي لعضلة القلب .



صورة رقم (19): زيادة كتلة البطين الأيسر (MVG) لدى عدائي المسافات الطويلة، الدراجات، و مجموعة تدريب القوة العضلية مقارنة مع مجموعات شاهدة.



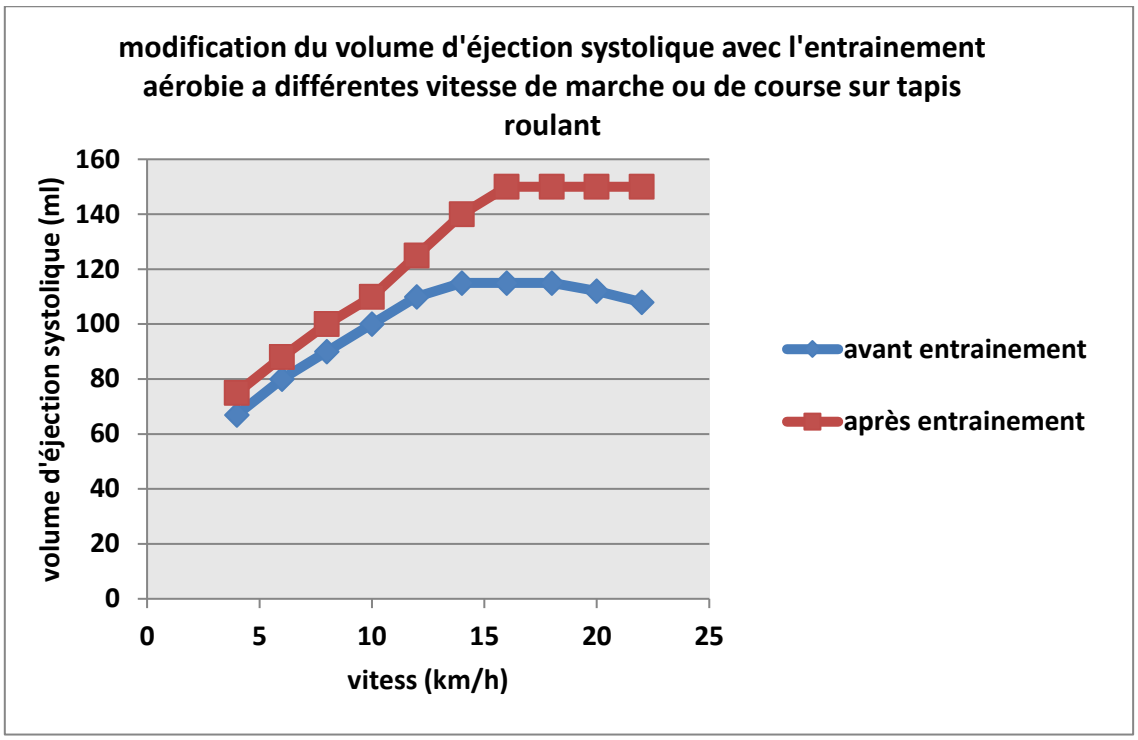
صورة رقم (20): زيادة كتلة البطين الأيسر.

2-2 حجم الدفع القلبي (Volume d'éjection systolique):

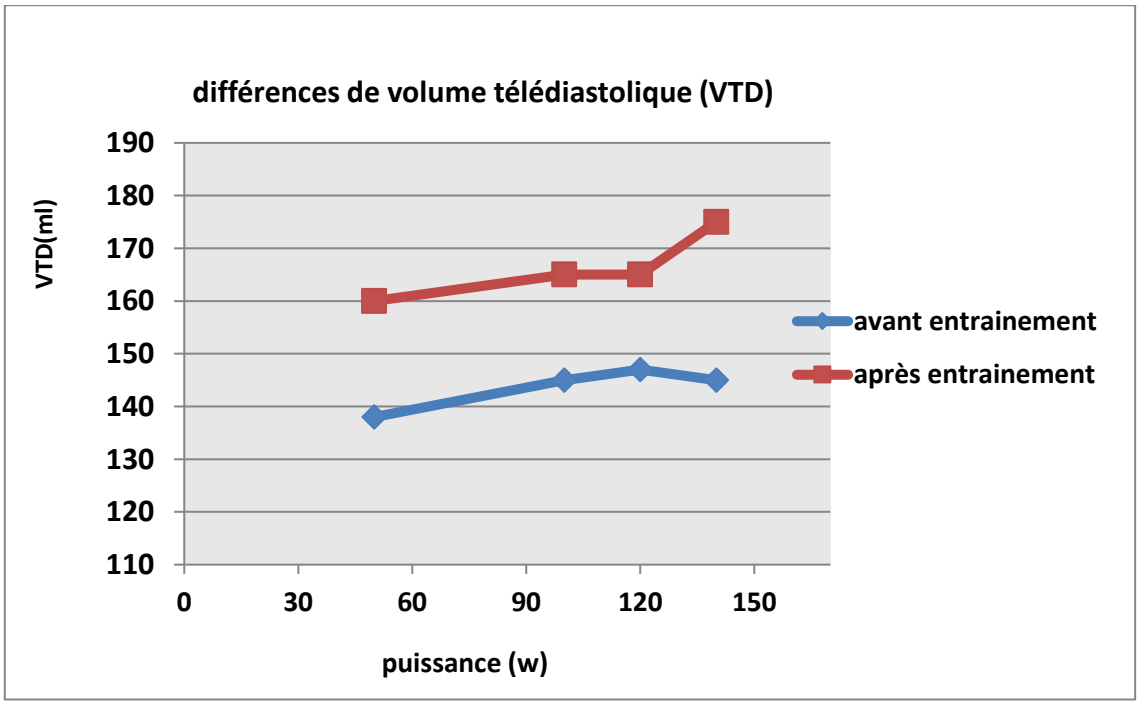
يؤدي التدريب الهوائي إلى زيادة حجم الدفع القلبي وفي دراسة أجريت بعد 6 أشهر من التدريب لوحظ أن التدريب يحسن و يرفع من نسبة التجميع الدياستولي في البطين الأيسر يصاحبه زيادة في حجم الدم هذا ما يؤدي إلى الرفع من حجم الدياستول و التليدياستول في النهاية هذا التدفق في الدم يمدد من جدران البطينين ويسمح ذلك بتطبيق قانون (Frank-starlingue) ، مفسرين ذلك بتضخم الجدار الخارجي لعضلة القلب و بالتالي الزيادة في كتلة البطين الأيسر مما يسمح بتطبيق قوي لحجم الضربة ناتجا عن ذلك انخفاض في حجم الدم المتبقي في البطين عند نهاية السيستول او التلي سيستول (volume résiduel) بضخ كميات معتبرة من الدم في الجهاز الدوري (Wilmore et Costil, 2006).

جدول رقم (02): قيم حجم الدفع القلبي عند مستويات مختلفة من التدريب .

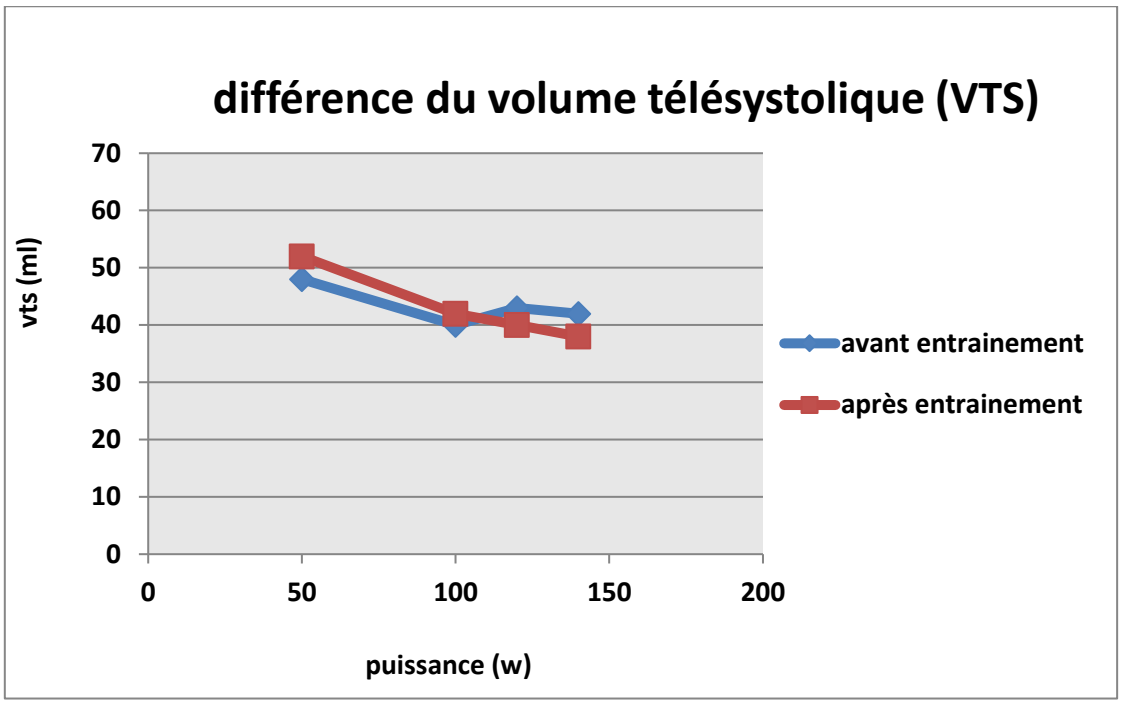
Sujets	Vs de repos (ml)	Vs maximal (ml)
Non entrainés	50-70	80-110
Entrainés	70-90	110-150
Très entrainé	90-110	150-220



صورة رقم (21): تغيرات حجم الدفع القلبي تحت تأثير التدريب الهوائي عند سرعات مختلفة من المشي أو الجري على بساط متحرك.



صورة رقم (22): الفرق في حجم الدم الدياستولي قبل و بعد التدريب .



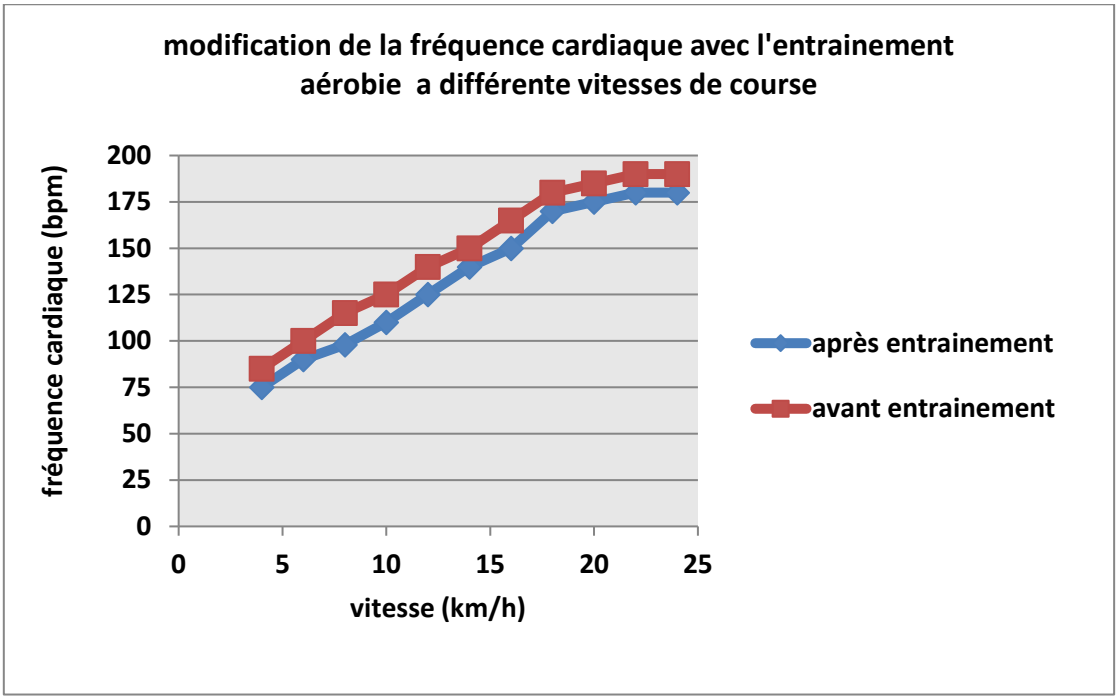
صورة رقم (23): الفرق في حجم الدم السيستولي قبل و بعد التدريب .

3-2 النبض القلبي (La fréquence cardiaque):

1-3-2 النبض القلبي في الراحة: ينخفض النبض القلبي في الراحة بصورة واضحة بعد فترة من التدريب الهوائي حيث يصل النبض القلبي في الراحة للشخص العادي حوالي 80 ن\د و ينخفض ب 1 ن\د في الأسبوع عند الأشهر الأولى من التدريب، الآلية المسببة لهذا الانخفاض غير معروفة حاليا و ما هو واضح أن التدريب يرفع من نشاط الجهاز الباراسمبثاوي ويخفض من النشاط السمبثاوي.

و بالنسبة للاعبين الأكثر ممارسة للنشاط الهوائي نجد أن النبض القلبي في الراحة أقل من 40 ن\د و في بعض الحالات يصل إلى 30 ن\د، ومن جهة أخرى عدة دراسات منجزة على الرياضيين لم تجد أو كان هناك انخفاض ضعيف للنبض القلبي في الراحة أقل من 5 ن\د بعد 20 أسبوع من التدريب الهوائي.

2-3-2 النبض القلبي في التمرينات البدنية تحت القصوى : أثناء أداء الجهد البدني و المتميز بشدة تحت قصوى، فإن العمل على تحسين الآلية الهوائية يترجم إلى نقصان في النبض القلبي عند نفس الشدة المطبقة المتعلقة بالتمرين ، و أثناء أداء الجهد البدني تحت أقصى مع تدريب لمدة 6 أشهر نلاحظ انخفاض في النبض القلبي حيث يتراجع بـ 10 إلى 30 ن\د .



صورة رقم (24): تغيرات النبض القلبي تحت تأثير التدريب الهوائي عند سرعات مختلفة من الجري.

3-3-2 النبض القلبي الأقصى: تبقى قيمة النبض القلبي الأقصى ثابتة بالنسبة للشخص ، حيث لا تتغير قيمته و لو بعد مدة من .التدريب المستمر.

4-3-2 العلاقة بين النبض القلبي و حجم الدفع القلبي: يؤدي الجهد البدني إلى زيادة نبضات القلب و هذا بدوره يعمل على زيادة حجم الدفع القلبي ،ما يسمح بتكيف حجم الضربة حسب الاحتياجات و عند التمرينات القصوى يصل حجم الضربة إلى أقصاه، و مع أن شدة النبض تكون جد مرتفعة يؤدي هذا إلى نقصان في فترة التجميع البطينية (دياستول) و بالتالي نقصان في حجم الدفع القلبي (Wilmore et Costil, 2006).

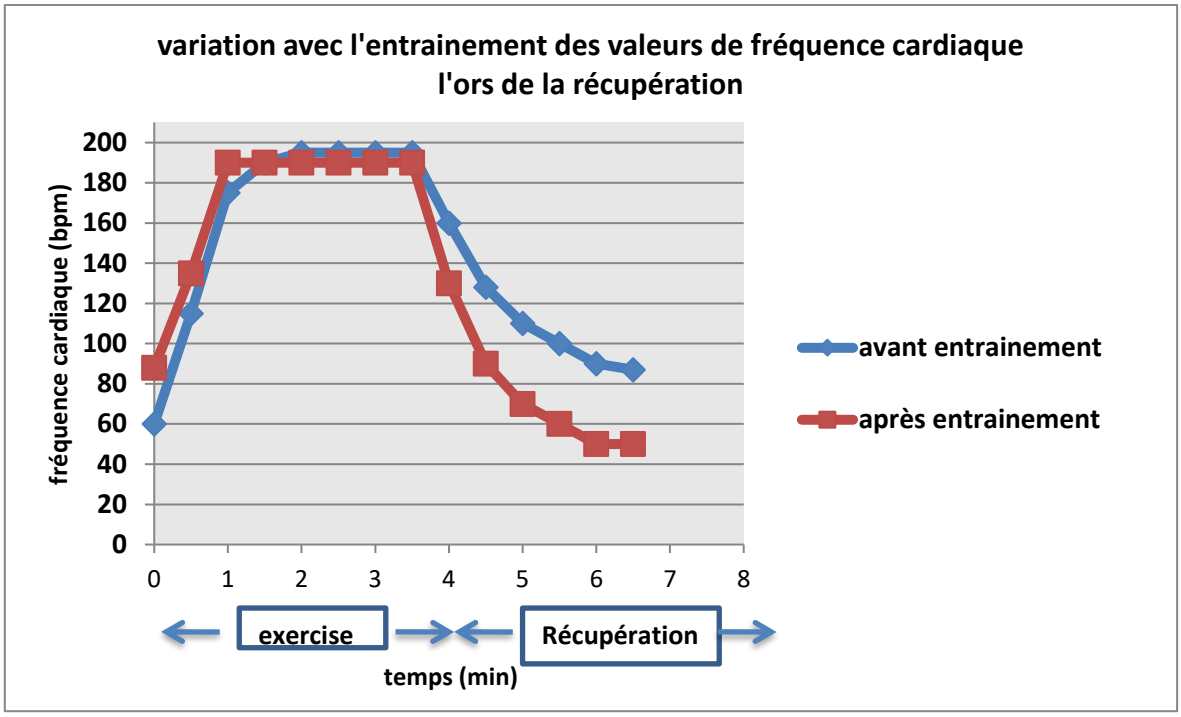
من أجل نبض قلبي أقصى 180 ن\د يتقلص القلب ثلاث مرات في الثانية مدة كل دورة تستمر 0,33 ثانية و هذا يترك 0,150 ثانية لفترة التجميع دياستول وبالتالي مدة التجميع قصيرة ينتج عن ذلك انخفاض في حجم الدفع القلبي .

5-3-2 الاسترجاع القلبي: عند التوقف من التمرين، لا يرجع النبض القلبي مباشرة إلى حالة الراحة على العكس فإنه يبقى مرتفع لمدة من الزمن ، بعد ذلك يرجع تدريجيا إلى حالة الراحة و بعد مدة من التدريب فإن النبض القلبي يرجع بسرعة إلى حالة الراحة و هذا ما يلاحظ في التمرينات البدنية القصوى و تحت القصوى .

6-3-2 النبض القلبي وتدريب القوة : دلت بعض الدراسات إلى أن التدريب الخاص بالقوة يؤدى كذلك إلى انخفاض النبض القلبي في الراحة و أثناء التمرين، وفي كل الحالات تبقى دراسات تأثير تدريب القوة على النبض القلبي أقل إعلانا من تلك المدرجة في التدريب الهوائي، هذه التغيرات تبقى متعلقة بخصائص تدريب القوة :

- كمية التدريب .

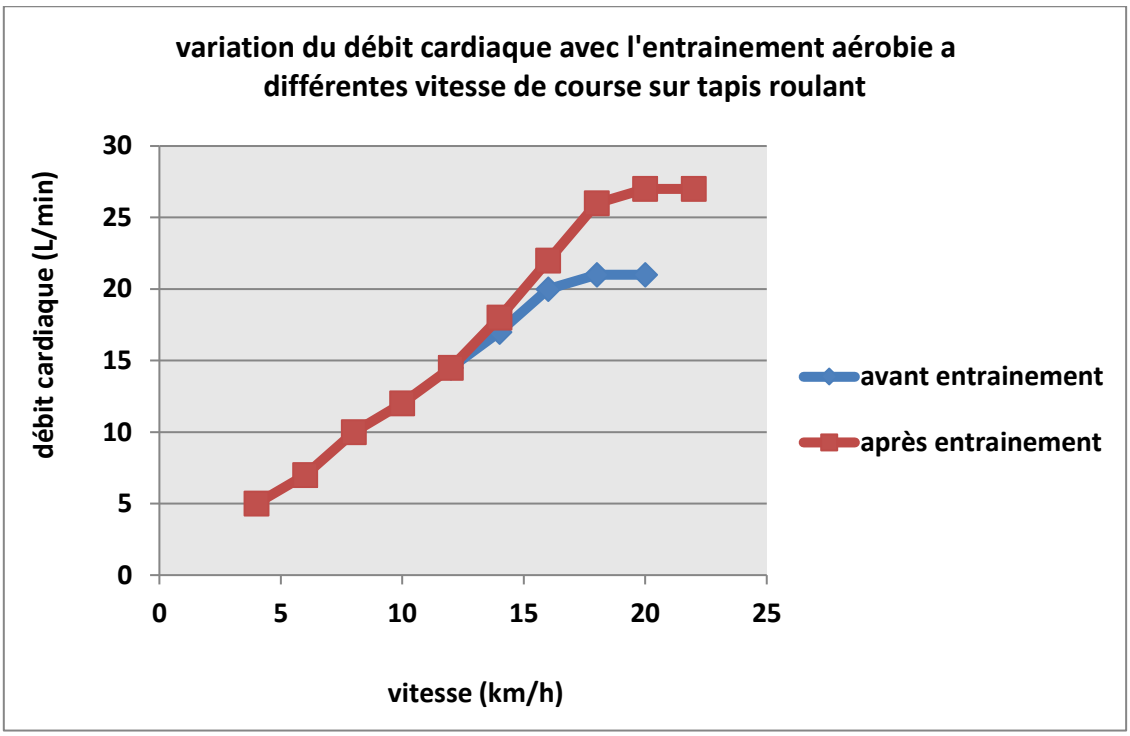
- شدة التدريب .
- مدة التدريب .
- مدة الراحة المطبقة بين فترات التمرين .
- الكتلة العضلية المطبقة .



صورة رقم (25): التغيرات مع التدريب في قيم النبض القلبي أثناء فترة الاسترجاع.

4-2 حجم الضربة (Débit cardiaque): في هذه الحالة نتطرق إلى تأثير التدريب على النبض القلبي وحجم الدفع القلبي حيث يعتبران العاملان المؤثران على حجم الضربة ، يتأقلم حجم الضربة كلما زادت كمية الأكسجين المستهلك ومع شدة التمرين المطبقة، حيث أن زيادة الفرق الشرياني الوريدي (a-VO2) الراجع إلى زيادة نسبة الأكسجين المنزوع على مستوى الأنسجة أو نقصان مستوى استهلاك الأكسجين يؤدي إلى تراجع في حجم الضربة. عامة يتكيف حجم الضربة مع كميات استهلاك الأكسجين (Wilmore et Costil, 2006).

يبلغ حجم الضربة عند التمرينات القصوى حوالي 15 إلى 20 مل\د بالنسبة للشخص العادي ، وحوالي 20 إلى 25 مل\د بالنسبة للرياضيين وقد يتجاوز 40 مل\د لرياضيي التحمل في المستوى العالي.



صورة رقم (26): تغيرات حجم الضربة تحت تأثير التدريب الهوائي عند سرعات مختلفة من الجري على بساط متحرك.

5-2 تدفق الدم (Débit sanguin): نعلم جيدا أن الطلب على الأكسجين والمواد الغذائية يرتفع عند الجهد البدني و من اجل تحقيق الاكتفاء يجب تحسين تدفق الدم على مستوى العضلات النشطة ، و مع التدريب الرياضي يتكيف الجهاز القلبي الوعائي رئيسيا بأربعة عوامل هي :

- زيادة عدد الشعيرات الدموية في العضلات (L'augmentation du nombre de capillaire dans les muscles entrainés).
- توسع الأوعية الموضعي (La vasodilatation locale) .
- إعادة توزيع الدم (la redistribution sanguine).
- زيادة حجم الدم (L'augmentation du volume sanguin).

تؤدي الزيادة في حجم الدم الموضعي إلى تطوير شعيرات دموية جديدة على مستوى عضلات الأشخاص المتدربين هذا التكيف يسمح بزيادة حجم الدم الكلي، وبالتالي هذه الزيادة في الحجم و تدفق الدم تسمح بالتجاوب مع زيادة متطلبات الجسم أثناء الجهد البدني الهوائي.

جدول رقم (03): تغيرات في أعداد الشعيرات الدموية و مساحة المبادلات الدموية لدى رياضيين متدربين و غير متدربين قبل و بعد التدريب .

Groupe	Nombre de capillaire par mm^2	Nombre de fibres musculaire mm^2 s par	Nombre de capillaires par fibre	Distance de diffusion µm
Très entrainé				
Avant exercice	**640**	**440**	**1.5**	**20.1**
Après exercice	**611**	**414**	**1.6**	**20.3**
Non entrainés				
Avant exercice	**600**	**557**	**1.1**	**20.3**
Après exercice	**599**	**576**	**1.0**	**20.5**

6-2 الضغط الشرياني (La pression artérielle): يؤثر التدريب الهوائي على الضغط الشرياني مهما كان مستوى التمرين عند شدة تحت قصوى أو قصوى، إلا أنه بالنسبة للأشخاص المتدربين ينخفض الضغط الشرياني بعد عملية التدريب ، هذا الانخفاض يحصل بالنسبة للضغط الشرياني السيستولي و الدياستولي ، هذا الانخفاض يكون بمعدل 10 مم زئبقي بالنسبة الضغط الشرياني السيستولي و 8 مم زئبقي للضغط الدياستولي، تبقى هذه الآلية مجهولة إلى حد الآن.

قام كل من (hagberg et al) لمدة 5 أشهر بتتبع رياضيين مراهقين لرفع الأثقال، حيث وجد أن الضغط الشرياني محدد أو غير طبيعي ، حيث أن الضغط الشرياني في الراحة ينخفض بصورة ملاحظة نفس الشيء لوحظ بعد التدريب الهوائي.

جدول رقم (04): قياس الضغط الدموي في الراحة و عند التمرينات التحت قصوى قبل وبعد 4 إلى 6 أسابيع من التدريب لدى 7 أشخاص وصلوا إلى مرض القلب التاجي .

Mesure	Repos			Exercice sous maximale		
	Valeur moyenne			Valeur moyenne		
	Avant	Après	Différence	Avant	Après	Différence
Pression systolique (mmHg)	139	133	-4,3	173	155	-10,4
Pression diastolique (mmHg)	78	73	-6,4	92	92	-14,1
Pression moyenne (mmHg)	97	92	-5,2	127	127	-14,3

Modifier d'après Clausen , J P et coll, physical training in the management of coronary artey disease. Circulation 40; 143 1969.

لدى مجموعة من النساء و الرجال تتراوح أعمارهم من 60 إلى 70 سنة، ستة أشهر من التدريب المنخفض الشدة الهوائي ينخفض الضغط الشرياني السيستولي حوالي 20 مم ز و 12 مم ز للضغط الشرياني الدياستولي، الأليات الرئيسية المسؤولة عن هذا الانخفاض تبقى غير معروفة، أهم العوامل التي قد تسبب هذا الانخفاض هي :

- اعتدال نشاط الجهاز العصبي السمبثاوي عن طريق التدريب، هذا الاعتدال يرجع إلى انخفاض المقاومة المحيطية لدوران الدم و انخفاض متلازم للضغط الدموي.
- التخلص الجيد من الصوديوم من طرف الكلي و هذا يخفض من حجم السوائل و ضغط الدم.

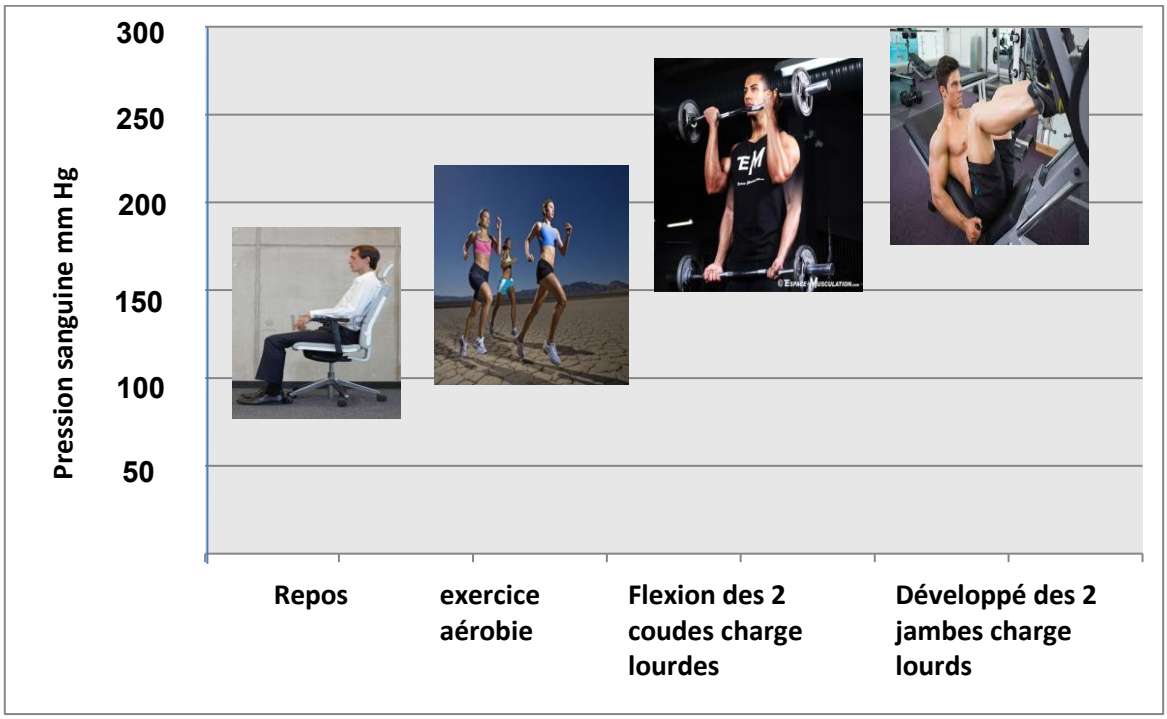
التأثير الجيد للتمرينات البدنية على الضغط الشرياني لا يلقى الإجماع عند النظر إلى التقارير العلمية نظرا لأن الدراسات المختلفة على الحيوانات لم تكتشف التأثير الحسن، المهم و الثابت للبرامج التدريبية للتمرينات البدنية . وفي دراسات أخرى نسبة الموت للأشخاص الذين يعانون من ضغط الدم و لديهم لياقة هوائية جيدة أقل بـ 60%مقارنة بأشخاص عاديين لديهم ضغط عادي .

1-6-2 التكيفات المزمنة للضغط الشرياني عند تمرينات القوة :

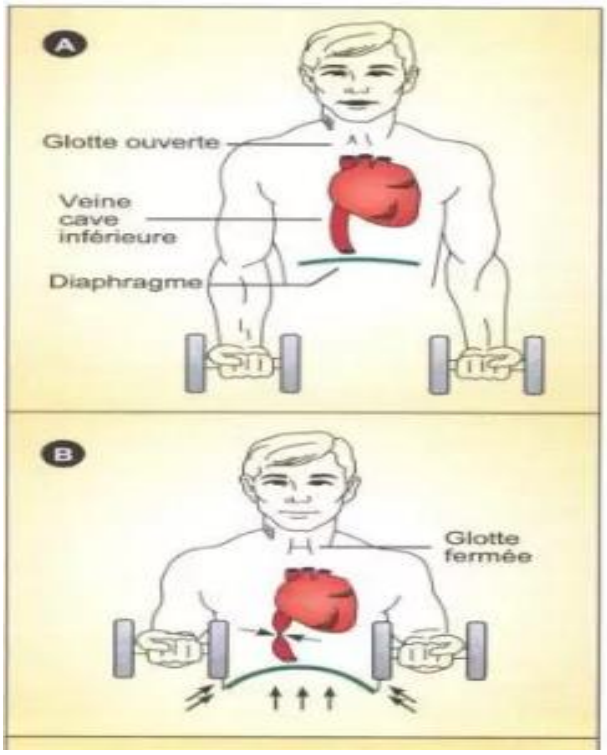
يرتفع الضغط الدموي بصورة ملاحظة عند أداء التمرينات الخاصة بالقوة، أثناء التمرينات الحركية عند شدة منخفضة قيم الضغط في الراحة لا ترتفع على المدى الطويل (Fleck S J, 1988, Pearson A C et al, 1986) . حيث أن البرنامج التدريبي المنتظم للقوة يخفف و يقلل من إرتفاع الضغط الشرياني أثناء التمرينات.

كذلك لدى مجموعة من الرياضيين المختصين في كمال الأجسام و أثناء أداء تمرينات القوة كان هناك ارتفاع ضعيف في قيم الضغط الشرياني السيستولي و الدياستولي مقارنة بمجموعة من المبتدئين الغير متدربين . حيث أن هذا الانخفاض يكون واضح عند رفع نفس الحمولة قبل عملية التدريب .

بالرغم من التأثير الواضح و الإيجابي لتدريب القوة على ارتفاع الضغط الشرياني أغلب الدراسات تشير إلى أن تأثير تدريب القوة أقل فعالية من برامج التدريب الهوائي من أجل التخفيض من الضغط الشرياني في الراحة.



صورة رقم (27): المقارنة بين تمرينات هوائية متواصلة، الضغط الدموي يرتفع أكثر أثناء تمرينات القوة خاصة عند تمرينات الجزء السفلي مقارنة بتمرينات الجزء العلوي.



صورة رقم (28): الضغط على الأوردة عند تطبيق عامل فالسالفا (manouvre de valsalva). وهو عبارة عن تقنية تنفس يتم خلالها غلق و الرفع من الضغط داخل القفص الصدري و داخل البطن ، عند طول هذه التقنية يمكن أن تؤدي إلى انخفاض في حجم الضربة ، وجود خطر ، تستخدم في بعض تقنيات الرفع (حمل الأثقال).

7-2 حجم الدم (Le volume sanguin):

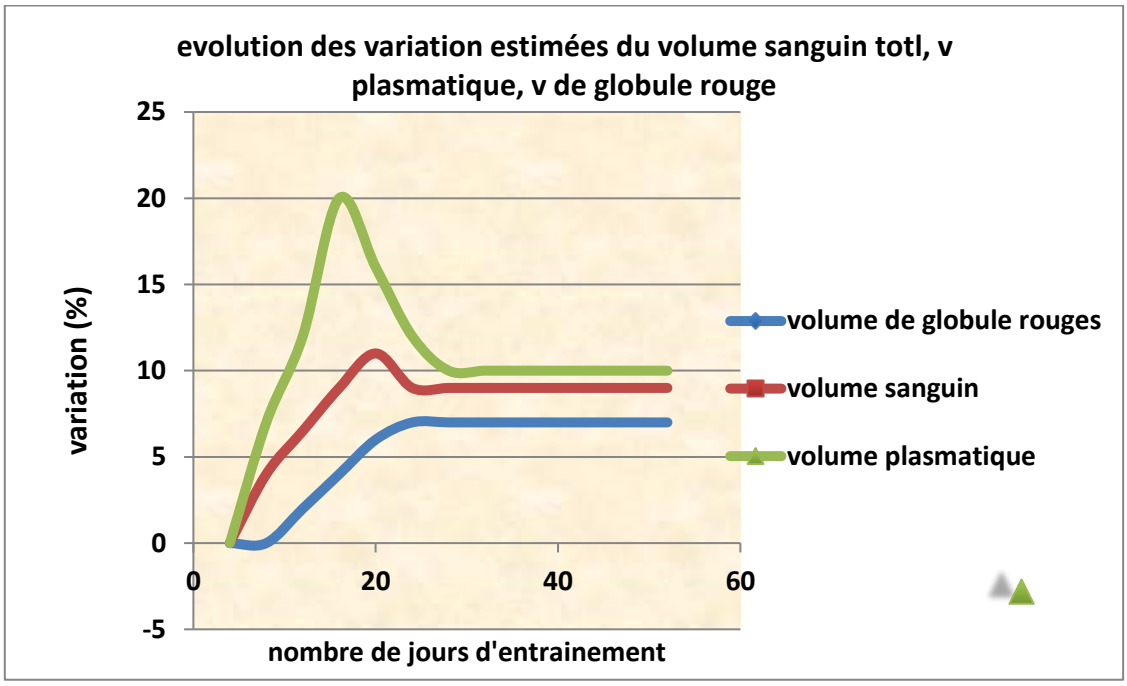
يؤدي التدريب الرياضي إلى زيادة حجم الدم الكلي ، حيث كلما زادت شدة التمرين كلما كانت عملية التكيف أكبر وأسرع، ترجع هذه الزيادة إلى الرفع من الحجم البلازمي والكريات الدموية الحمراء، وهذا بالطرق التالية .

1-7-2 الحجم البلازمي:

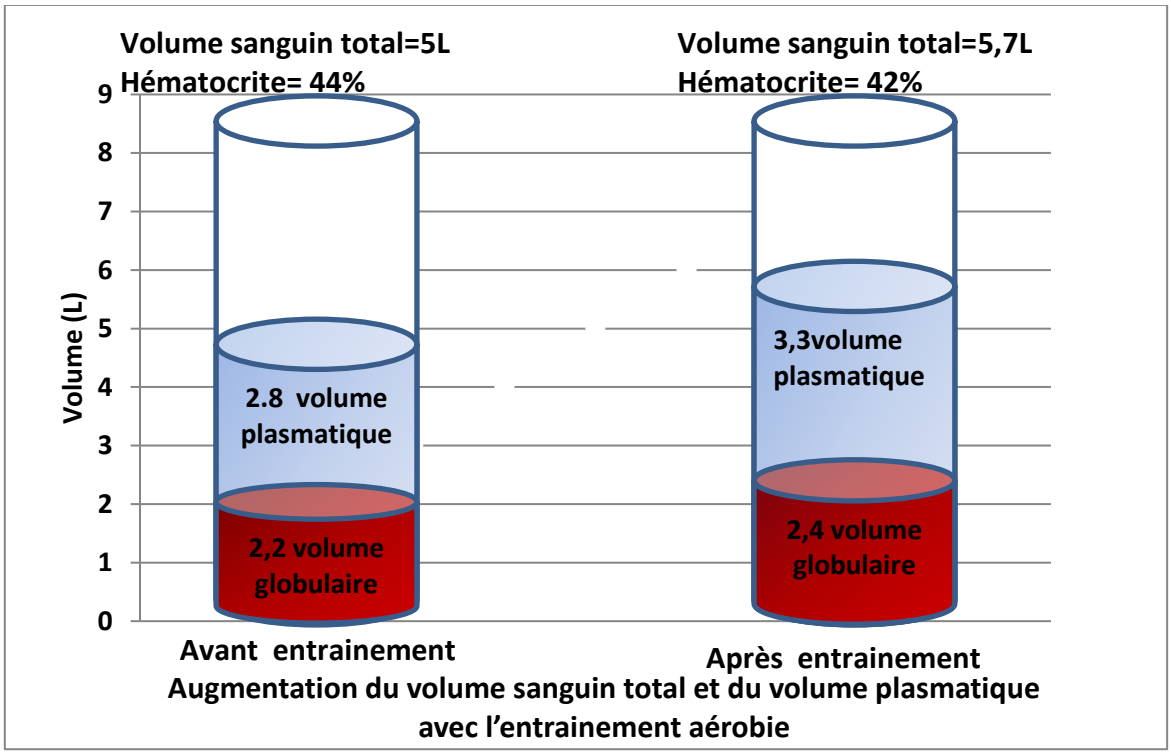
يرتفع الحجم البلازمي للدم استجابة للتدريب الهوائي ، يؤدي التمرين إلى الرفع من إنتاج هرمون (antidiurétique ADH) و هرمون الالدسترون اللذان يعملان على حجز وحبس الماء من طرف الكليتين هذا يعمل على زيادة الحجم البلازمي من جهة ، ومن جهة أخرى يعمل التمرين على الرفع من تركيز البروتينات خاصة الألبومين بحيث تعتبر البروتينات البلازمية الأولى التي تعمل على تعديل الضغط الاسموزي، كل زيادة في هذه البروتينات تؤدي إلى تنقل الماء من الأنسجة نحو الدم، هذه الزيادة تلاحظ بعد بضع ساعات من أداء التمرين (Wilmore et Costil, 2006).

2-7-2 الكريات الدموية الحمراء :

كل زيادة في عدد الكريات الدموية الحمراء تؤدي إلى زيادة في الحجم الدموي الكلي ، بالتالي زيادة في تركيز الهيموغلوبين هذا ما يعطي للدم إمكانية كبيرة من أجل تحقيق الاكتفاء من الأكسجين .



صورة رقم (29): تطور التغيرات في حجم الدم الكلي، الحجم البلازمي و حجم الكريات الحمراء.



صورة رقم (30): زيادة حجم الدم الكلي و الحجم البلازمي تحت تأثير التدريب الهوائي .

المحور الثاني: تكيفات الجهاز العضلي للجهد البدني

Adaptation du système musculaire à l’effort physique

مقدمة :

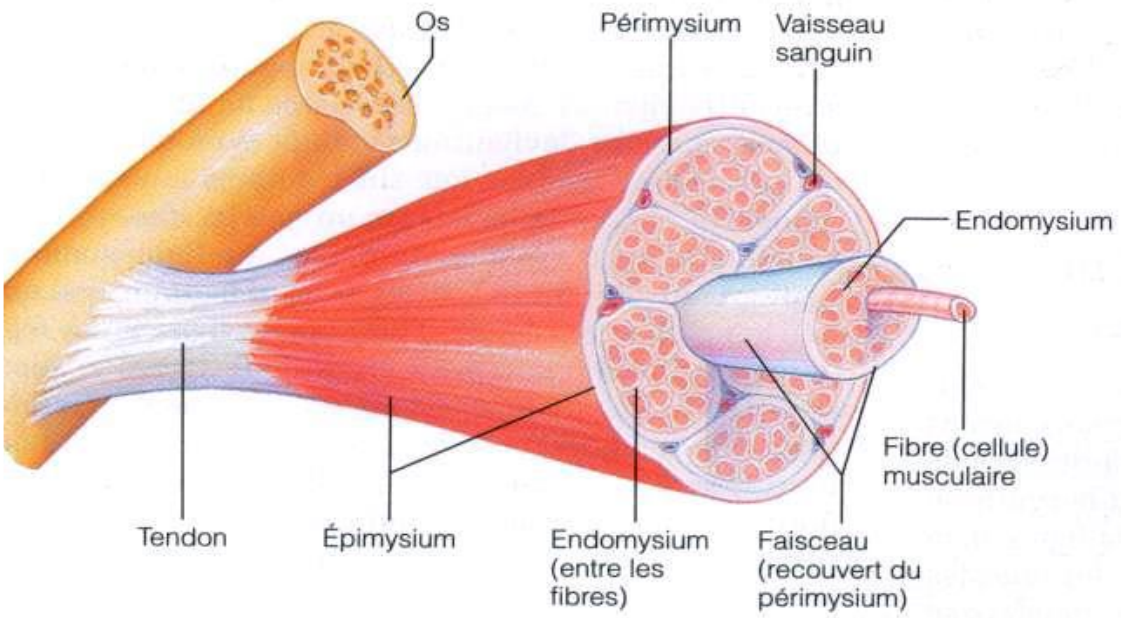
يؤدي التدريب الرياضي إلى إحداث مجموعة من التكيفات على الجهاز العضلي ، حيث تظهر تغيرات خاصة بتدريب القوة والتحمل وهذا ما يجعلنا نتطرق في هذا الفصل إلى دراسة مختلف أنواع الألياف العضلية وصولا إلى أسباب التضخم والضمور العضلي .

1-بنية النسيج العضلي:

تمثل الكتلة العضلية بالنسبة للشخص من 45 إلى 50 % من الكتلة الكلية للجسم، كما أن العضلات الموجودة تقسم إلى ثلاث أنواع إلا أن العضلات الهيكلية المخططة تمثل النوع الأكثر تواجدا بنسبة 40 إلى 45 % من الكتلة الكلية، أما بالنسبة للعضلات القلبية و الملساء تمثل نسبة 5 % من الكتلة الكلية، حيث يبقى مبدأ النشاط و العمل العضلي نفسه في كل هذه الأنواع بتحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة حركية.

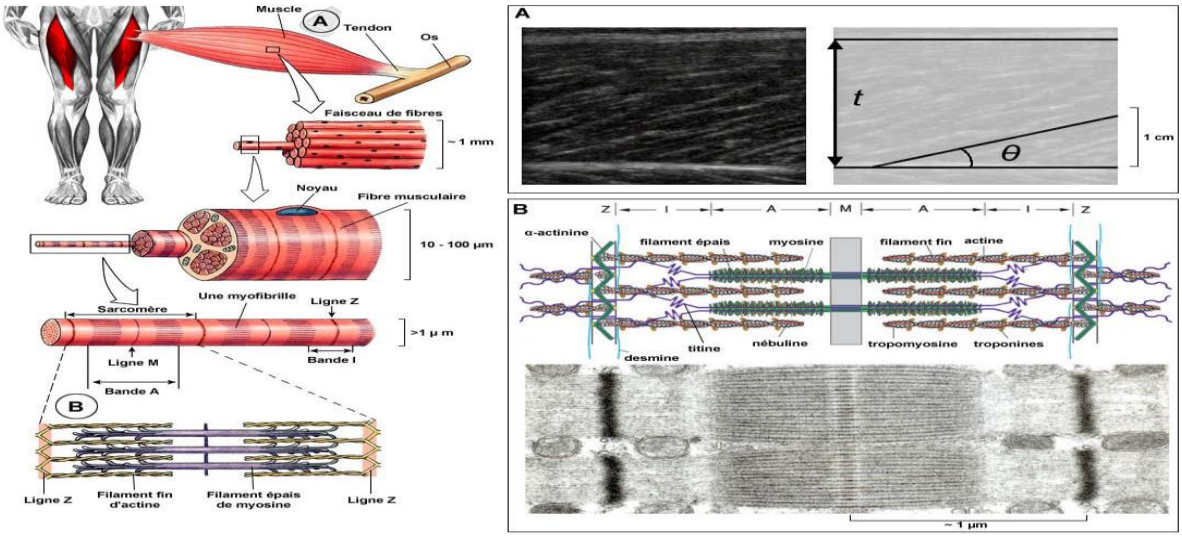
يتكون النسيج العضلي رئيسيا من 75 % ماء و 20 % من البروتينات و 5 % من الأملاح المعدنية (Na^+ et K^+) و مواد منحلة، و من بين البروتينات التقلصية للعضلة نجد الميوزين يشكل من (50 إلى 55 %) و الأكتين من (20 إلى 25 %) و الذي يعتبر غني بالـ (ATP) و التروبوميوزين مشكلا من (10 إلى 15 %). أما بالنسبة للساركوبلازم تمثل مجموعة من البروتينات و التي لها دور رئيسي في عمليات الهدم و البناء إضافة إلى الميوقلوبين، و مجموعة من الإنزيمات، الغلوكوز من (0,5 إلى 1,5 %) و الدهون إلى 1 % بحيث تكون متوضعة رئيسيا في النسيج الضام للعضلة (Palau J.M , 1985, P 142).

عند القيام بتشريح النسيج العضلي، أولا نقوم بقطع النسيج الضام الذي يقوم بتغليف العضلة و الذي يسمى بـ (l'épimysium) يحتوي داخل هذا النسيج مجموعة حزم عضلية تكون محاطة بنسيج آخر يدعى (périmysium) و عند قطع هذه الحزم نجد أنها تتكون من مجموعة ألياف عضلية التي تحتوي على مجموعة من الأنوية الخلوية ، كل ليف عضلي يكون محاط بنسيج ضام يدعى (endomysium)، داخل الألياف العضلية نجد مجموعة من الليفات العضلية و التي تشكل الوحدة الحركية التقلصية، وحول هذه الليفات توجد مجموعة أخرى من المكونات هي البلازما (الساركوبلازم)، الشبكة الاندوبلازمية التي تحتوي على أيونات الكالسيوم، الميتوكوندري التي تعمل على توفير الطاقة، كما يصل عدد الألياف العضلية حوالي مليون في عضلات الفخذ (Wilmore et, Costil, 2006).

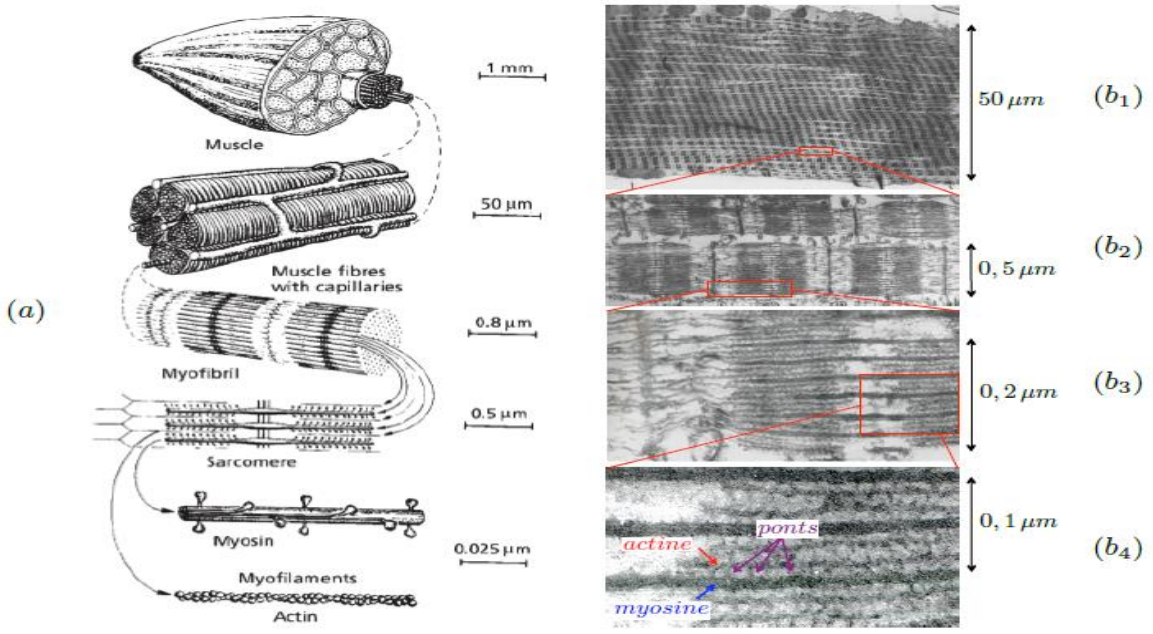


صورة رقم (01): مقطع عرضي يوضح مختلف طبقات النسيج الضام الذي يغلف كل من العضلة (épimysium)، الحزم العضلية (périmysium) ، الألياف العضلية (endomysium) (Gaillard R et Servien E, 2017).

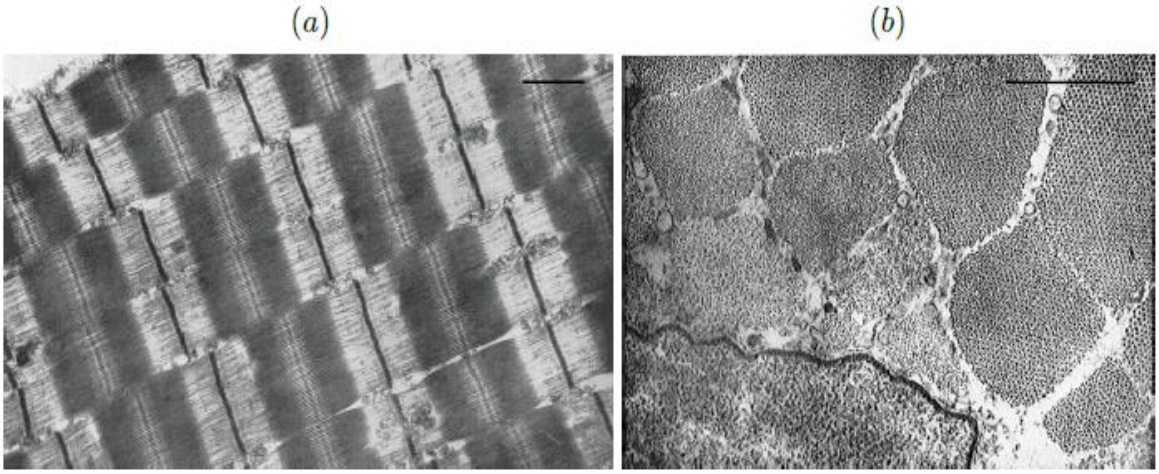
تحتوي الليفات العضلية على مجموعة من الخيوط تدعى بـ(الأكتين و الميوزين) و التي تعطي الشكل المخطط للنسيج العضلي، حيث نلاحظ منطقة عاتمة تدعى المنطقة (A) تكون محاطة بخطوط نيرة تسمى تسمى الخط (I) في كل منطقة (A) يقطعها خط في الوسط يدعى بالخط (M) في كلا جهتي هذا الخط نجد المنطقة (H) ممثلة الفراغ الموجود بين خطوط الأكتين، كما تنقطع المنطقة (I) بخطوط عاتمة تدعى الخطوط (Z) و التي تشكل الوحدة التقلصية (sarcomère).



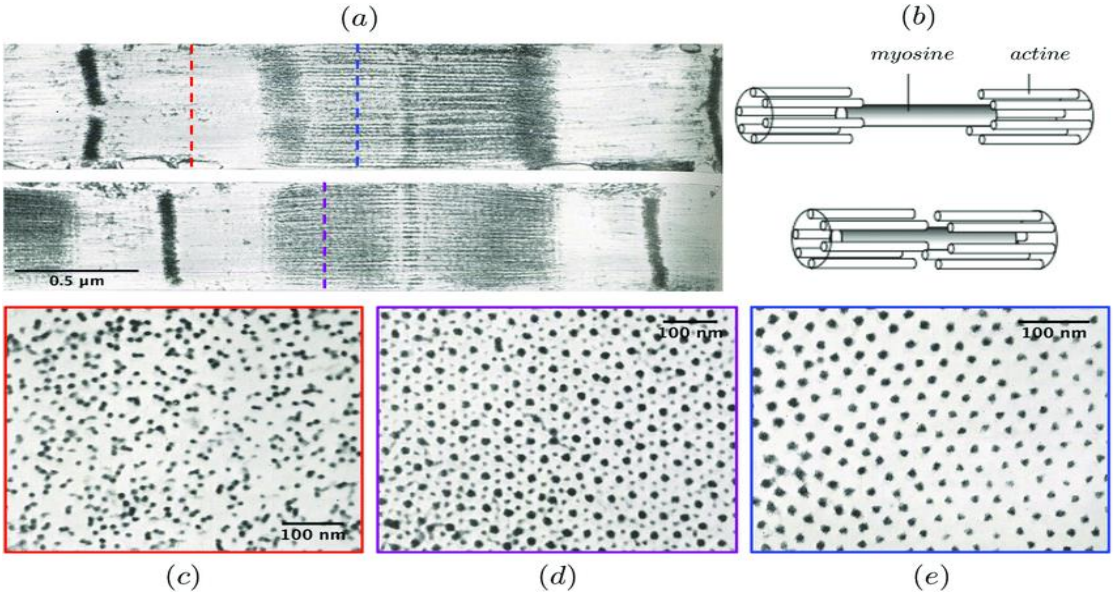
صورة رقم (02): يوضح التنظيم العام للجهاز التقلصي للعضلة وصولا إلى البنية البروتينية التكوينية للوحدة التقلصية (sarcomère) (Gael Guilhem, 2010, P 16).



صورة رقم (03): صورة لمختلف مكونات العضلة (a). صورة تحت المجهر الإلكتروني مأخوذة من طرف (Huxley H.E, 1960) : مقطع طولي لليف عضلي (b_1)، تكبير على بعض الوحدات التقلصية (sarcomères) (b_2)، داخل الوحدة التقلصية على خيوط الأكتين و الميوزين (b_3) و على المعقد أكتين ميوزين (b_4).

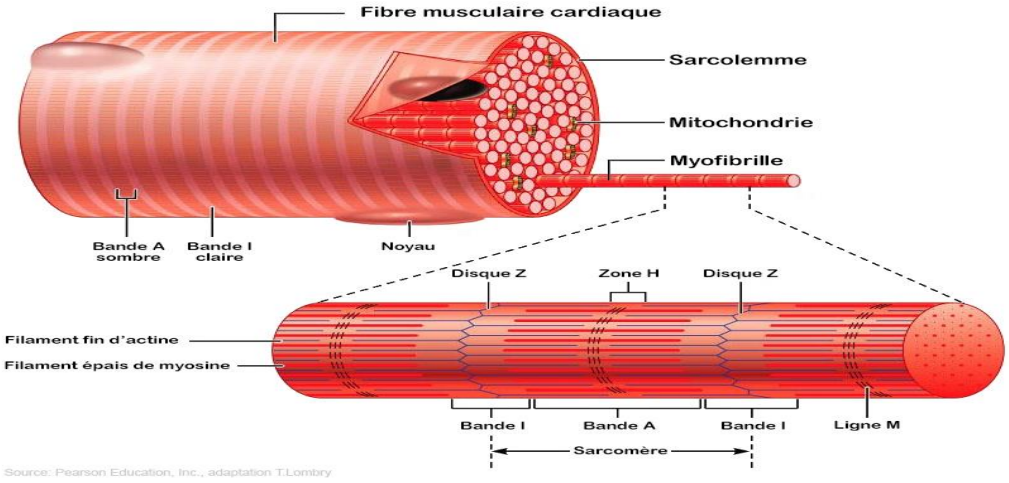


صورة رقم (03): مقطع طولي (a) و عرضي (b) لليف عضلي (للعضلة القطنية الصغيرة و الكبيرة في عضلات الظهر للأرنب (psoas) تحت المجهر الإلكتروني) حسب (Huxley H.E, 1960) .

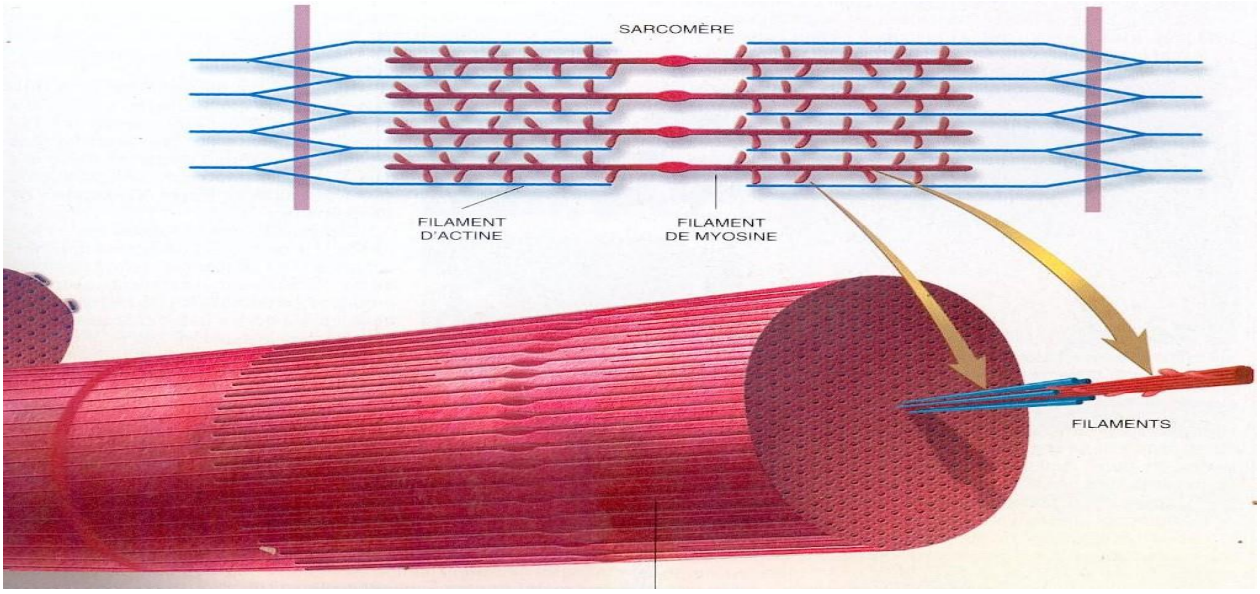


صورة رقم (04): مقطع طولي لوحدة تقلصية (sarcomère) في حالة راحة (في الأعلى) و في حالة تقلص (في الأسفل) للعضلة القطنية الصغيرة و الكبيرة في عضلات الظهر للأرنب (psoas) تحت المجهر الإلكتروني . (b) صورة للانزلاق خيوط الأكتين على خيوط الميوزين. (c,d,e) مقطع عرضي للوحدة التقلصية (sarcomère): شبكة من خيوط الأكتين (c)، خيوط الميوزين (d) و منطقة التداخل بين خيوط الأكتين و الميوزين (d). الصورة تحت المجهر الإلكتروني تم إستعارتها من طرف (Huxley H.E, 1960).

تحتوي الليفات العضلية على مجموعة من الخيوط تدعى بـ(الأكتين و الميوزين) و التي تعطي الشكل المخطط للنسيج العضلي، حيث نلاحظ منطقة عاتمة تدعى المنطقة (A) تكون محاطة بخطوط نيرة تسمى تسمى الخط (I) في كل منطقة (A) يقطعها خط في الوسط يدعى بالخط (M) في كلا جهتي هذا الخط نجد المنطقة (H) ممثلة الفراغ الموجود بين خطوط الأكتين، كما تنقطع المنطقة (I) بخطوط عاتمة تدعى الخطوط (Z) و التي تشكل الوحدة التقلصية (sarcomère).



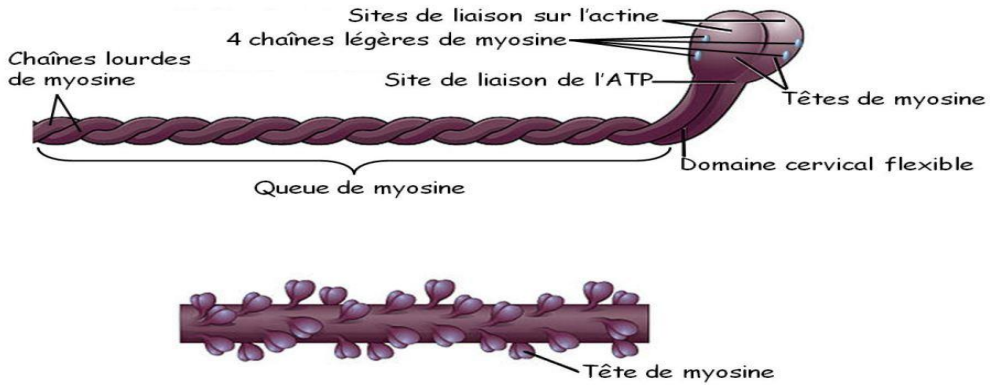
صورة رقم (05): التنظيم الهيكلي للوحدة التقلصية (sarcomère) حيث تظهر جميع المناطق (المنطقة A، و المنطقة I، و الخط M، و المنطقة H).



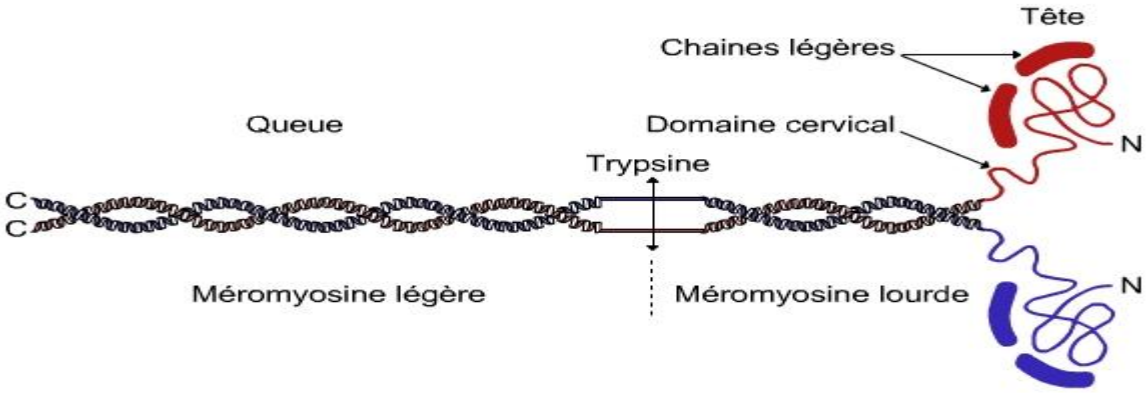
صورة رقم (06): كيفية توضع كل من خيوط الأكتين و الميوزين في الوحدة التقلصية (sarcomère)، مع صورة عرضية لليف عضلي تبرز كل من خيوط الأكتين و الميوزين و كيفية تنظيمها.

1-1 بنية الميوزين (structures myosines):

الميوزين هو بروتين أنزيمي ليفي لديه ثقل جزئي مرتفع جدا (500000 daltons) يشكل سلسلة ثقيلة و خفيفة، جزيئة الميوزين لها محور متطاول من أجل تشكيل خيط يتكون من 300 إلى 400 جزيئة ميوزين، كل جزيئة تقسم إلى ثلاث عناصر هي الرأس (tête) يمثل 1,6 من جزيئة الميوزين، العنق (col)، الذنب (queue) بحيث يتكون كل من العنق و الذنب من سلسلتين لديها وزن جزئي ثقيل، و الرأس يتكون من 5 سلاسل خفيفة (Pilardeau P , 1995 , P 05).



صورة رقم (07) : بنية جزيئة الميوزين.



صورة رقم (08): الشكل التوضيحي للسلاسل الثقيلة و الخفيفة المشكلة لجزيئة الميوزين (Camus G, 2006).

2-1 بنية الأكتين (structures Actines) :

يمثل الأكتين 25 % من الوزن الصافي في الليفات العضلية و هو يتكون من ثلاث عناصر حسب ما أشار إليه (Pilardeau P , 1995 , P 06) :

أ- **التروبوميوزين:** و هو بروتين متطاول يشكل سلسلة بروتينية رفيعة و هو يتكون من مزدوجة على شكل سلم حلزوني.

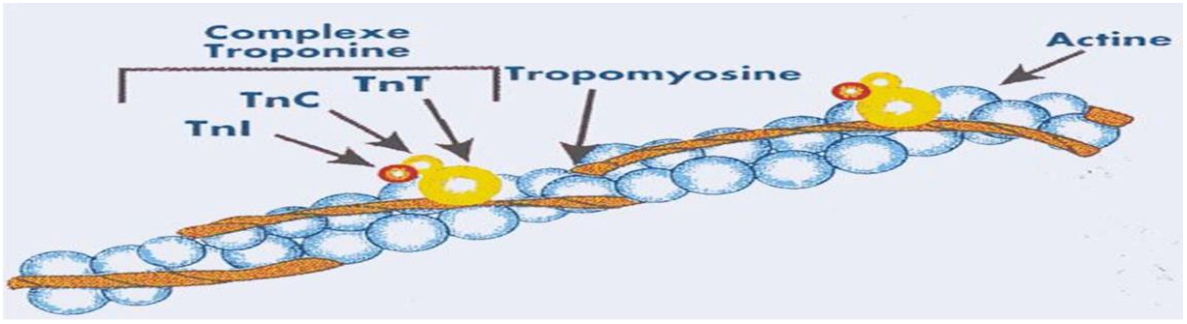
ب- **التروبونين:** هذا البروتين موجود بتواصل بعد 7 مونومتر من الأكتين و في مؤخرة جزيئة التروبونين وهو يتكون من ثلاث وحدات تسمى T,C,I و التي تمثل الأسماء التالية :

(C) عبارة عن موقع لتثبيت الكالسيوم أو المغنزيوم.

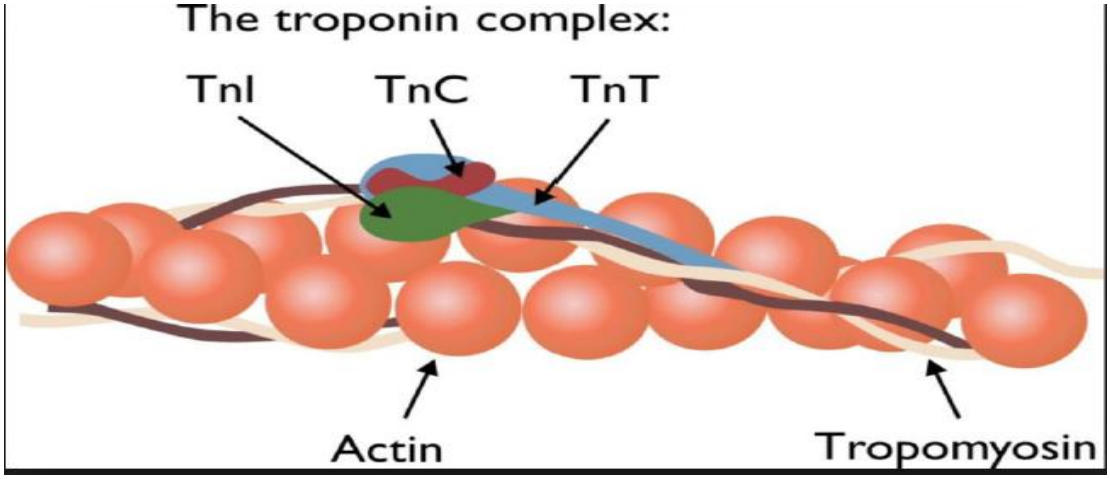
(I) منطقة محملة أو مغلقة لها دور في تحرير مواقع تثبيت الميوزين على الأكتين.

(T) منطقة مفصلة توجد قريبة من موقع تثبيت التروبونين على التروبوميوزين.

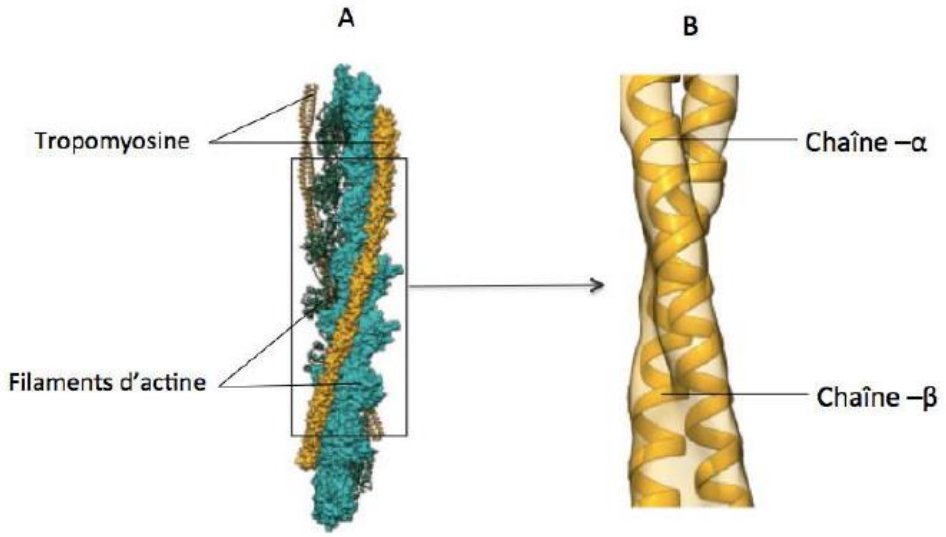
ج- **الأكتين:** وهو عبارة عن جزيئات كروية الشكل (G-actine) ، حيث يمثل اتحاد جزيئات مع بعضها لتشكل سلسلة ليفية تتكون من 330 جزيئة هذه السلسلة الليفية تكون خيط طويل (2,75 نانومتر) ويسمى (F- actine)، وعند طرفي الوحدة التقلصية، السلسلة الليفية (F-actine) تندمج مع الخط Z .



صورة رقم (09): رسم تخطيطي يوضح بنية الأكتين **(Durmort C, 2012).**



صورة رقم (10): توضيح مكونات التربونين في العضلة الهيكلية مع كل من جزيئة الأكتين و التربوميوزين حسب (Smith C, 2016).



صورة رقم (11): صورة توضح بنية بروتين التربوميوزين المعاد تكوينه من صورة تم الحصول عليها بالمجهر الإلكتروني عند 6,5 Å.) في الصورة (A) التربوميوزين (باللون الأصفر) يحيط بخيوط الأكتين (باللون الأخضر و الأزرق). بينما في الصورة (B) صورة أقرب توضح الوحدتين المكونتين لبروتين التربوميوزين (السلاسل α و β). (Von der Ecken J. et al., 2014).

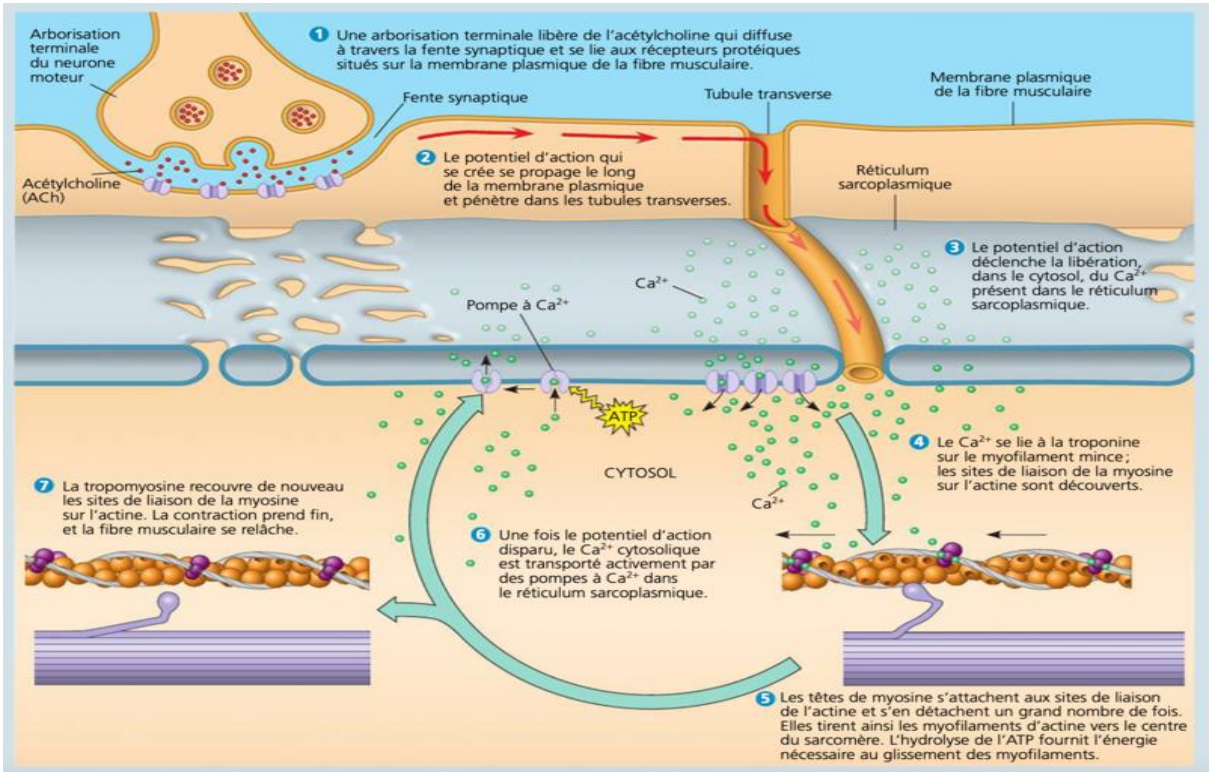
2- التقلص العضلي :

تحفز عملية التقلص العضلي عن طريق عصبون حركي الذي ينقل السيالة العصبية أو التنبيه العصبي على مستوى الألياف العضلية (الوحدة الحركية)، محررا بذلك الأستيل كولين من الغشاء القبل مشبكي في الفراغ المشبكي و هذا ما يشكل عتبة التنبيه على مستوى الغشاء البعد مشبكي بحيث يثبت الأستيل كولين في مستقبلات خاصة على مستوى الساركولام و هذا ما يؤدي إلى انتقال التنبيه على مستوى كامل الألياف العضلية، بفضل فتح

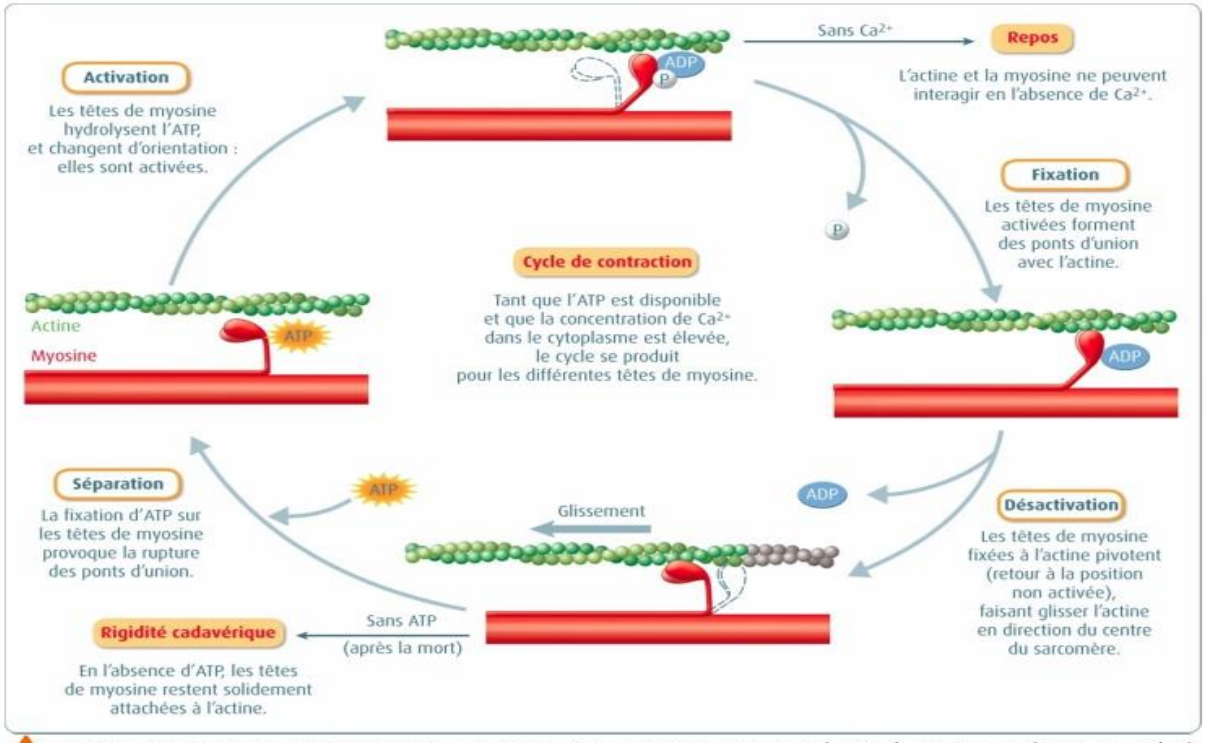
قنوات الصوديوم و البوتاسيوم حيث تسمى هذه الظاهرة بموجة الاستقطاب تنتقل السيالة العصبية عن طريق القنوات المستعرضة (T) و الشبكة الاندوبلازمية مما يؤدي إلى تحرير الكالسيوم المخزن في الشبكة الاندوبلازمية.

في حالة الراحة جزيئات التروبوميوزين تخفي المواقع النشطة في خيوط الأكتين مانعة تثبيت رؤوس الميوزين، عند تحرير الكالسيوم يثبت في التروبونين الذي يعمل على تحريك جزيئات التروبوميوزين محررا بذلك المواقع النشطة، مما يؤدي إلى تثبيت أو تشكيل معقد أكتين ميوزين في وجود طاقة (ATP)، عند ارتباط رؤوس الميوزين بخيوط الأكتين يحدث انزلاق بدوران رؤوس الميوزين نحو مركز الوحدة التقلصية حيث تقترب خيوط الأكتين من المنطقة (H) التي تصبح غير ملاحظة و هذا ما يؤدي إلى تقلص العضلة ، يوجد في رؤوس الميوزين أنزيم يدعى (ATPase) الذي يعمل على هدم جزيئة (ATP) إلى (ADP +Pi) المحررة للطاقة و التي تستعمل لربط رؤوس الميوزين بخيوط الأكتين، و عند الانخفاض في تركيز الكالسيوم الذي يعاد إرجاعه إلى الشبكة الاندوبلازمية ، مما يؤدى إلى نقص الكالسيوم في التروبونين بدوره يرجع إلى الحالة الأصلية بتوقيف ارتباط الميوزين بالأكتين، في هذه الحالة تسترخي العضلة (Marieb E N, 1999, P 296)

.



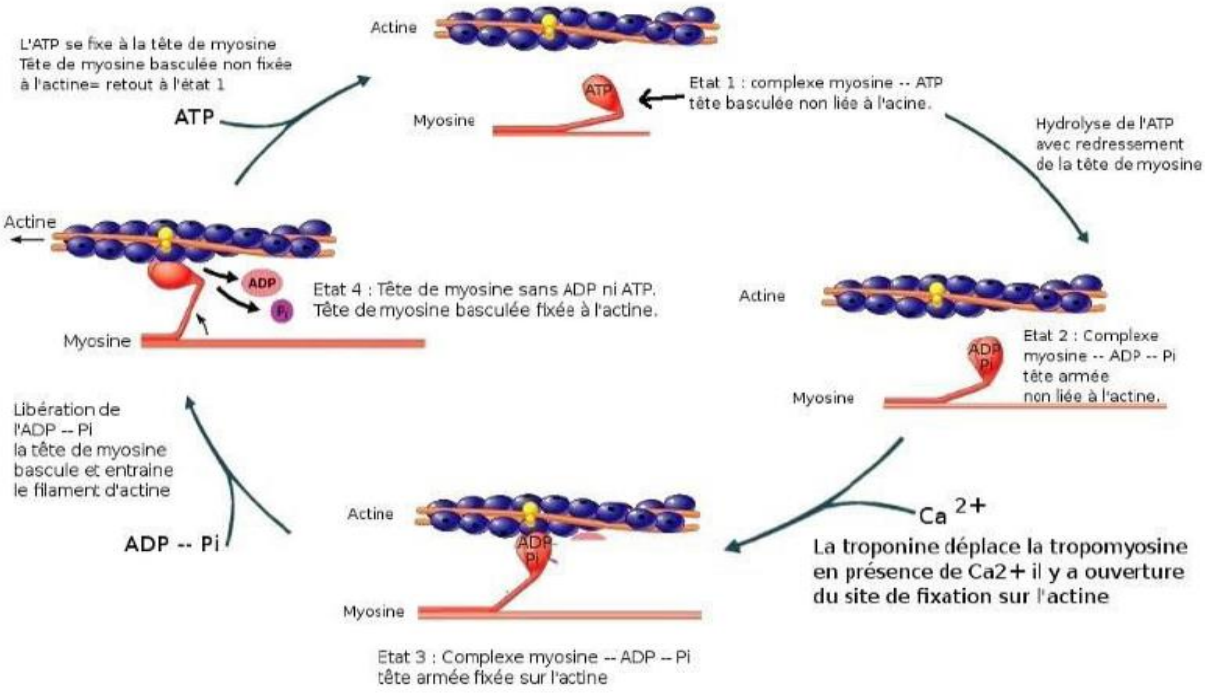
صورة رقم (12): مراحل التقلص العضلي بدءا من وصول السيالة العصبية على مستوى المشبك و صولا إلى تشكيل المعقد أكتين ميوزين و حدوث إنزلاق خيوط الأكتين على *الميوزين* (Patalano M,2021).



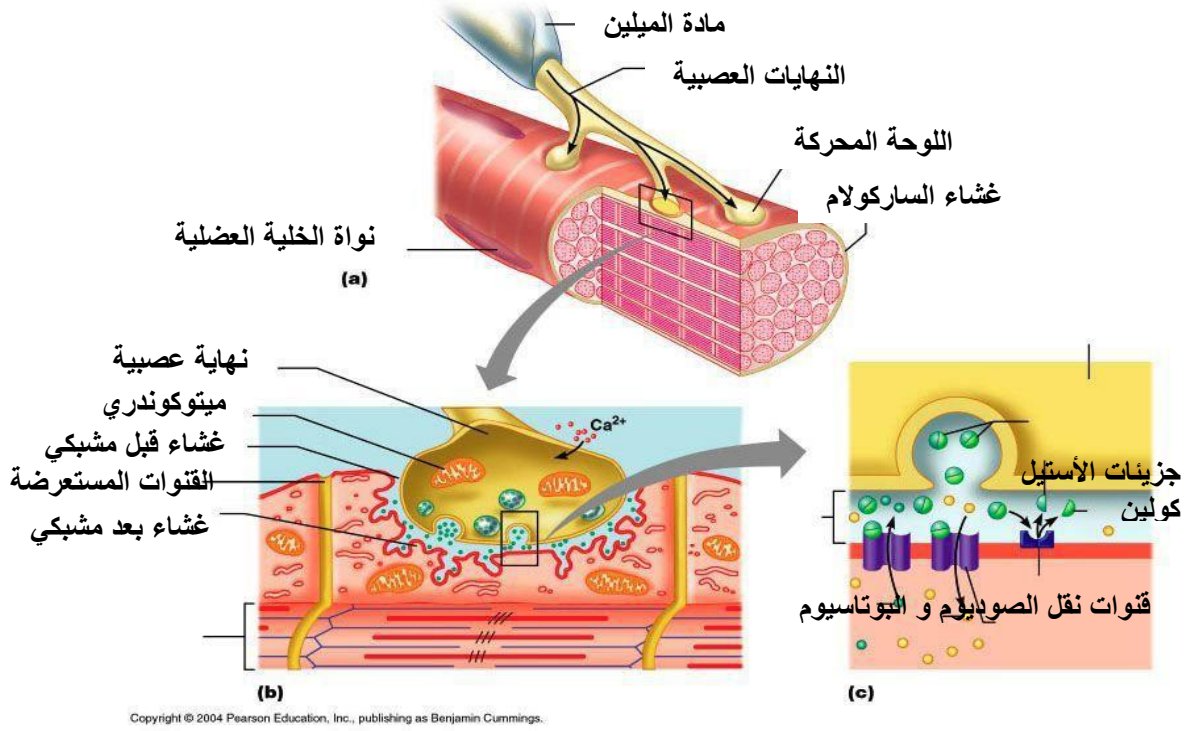
Modèle du couplage entre l'hydrolyse de l'ATP et le mouvement. Une seule tête de myosine est figurée. Le cycle de contraction se répète le long du filament d'actine.

Documents extraits du manuel de SVT spe BELIN 2012 p53

صورة رقم (13): مراحل التقلص العضلي .



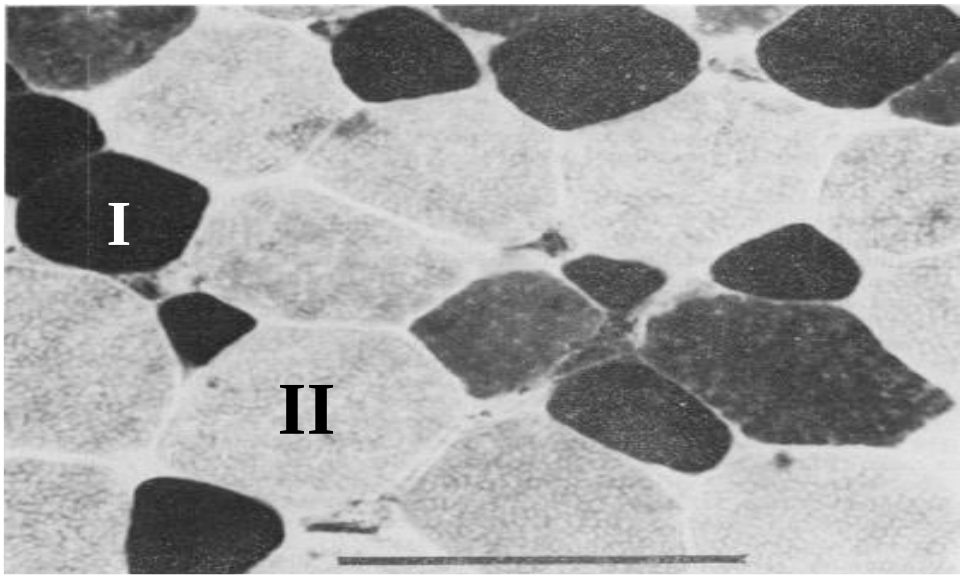
صورة رقم (14): مختلف مراحل التحفيز –تقلص في العضلات الهيكلية المخططة (Biodis, 2015).



صورة رقم (15): توضيح اللوحة المحركة على مستوى الألياف العضلية (منطقة المشبك العصبي العضلي) (Zeller M,2017)

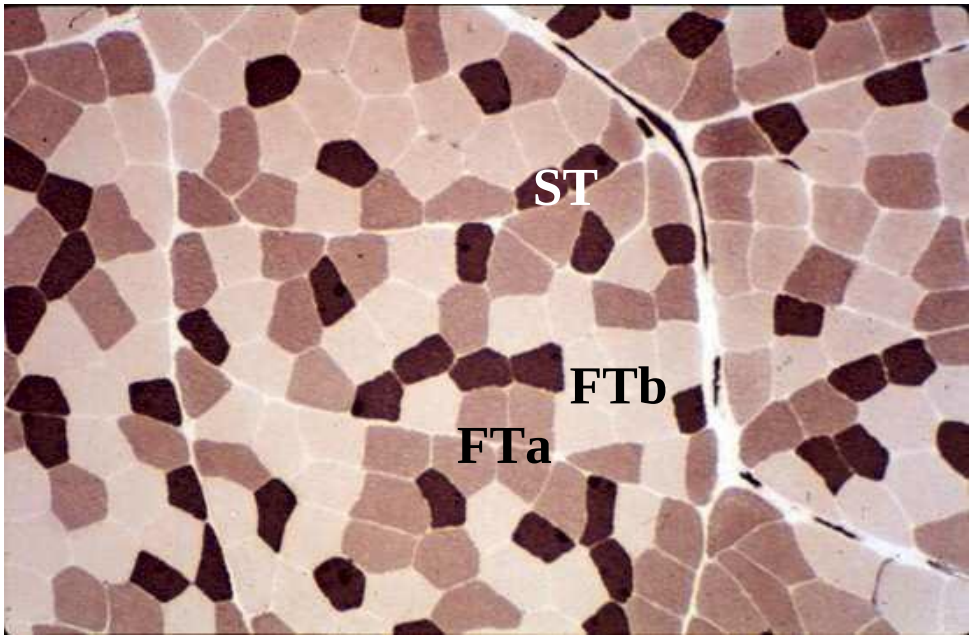
3- العضلة الهيكلية والتمرين البدني :

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



صورة رقم (16): مختلف أنواع الألياف العضلية من النوع I و النوع II (الحمراء و البيضاء).

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



صورة رقم (17) : تصنيف أنواع الألياف العضلية الحمراء و البيضاء (ST، FTa، FTb).

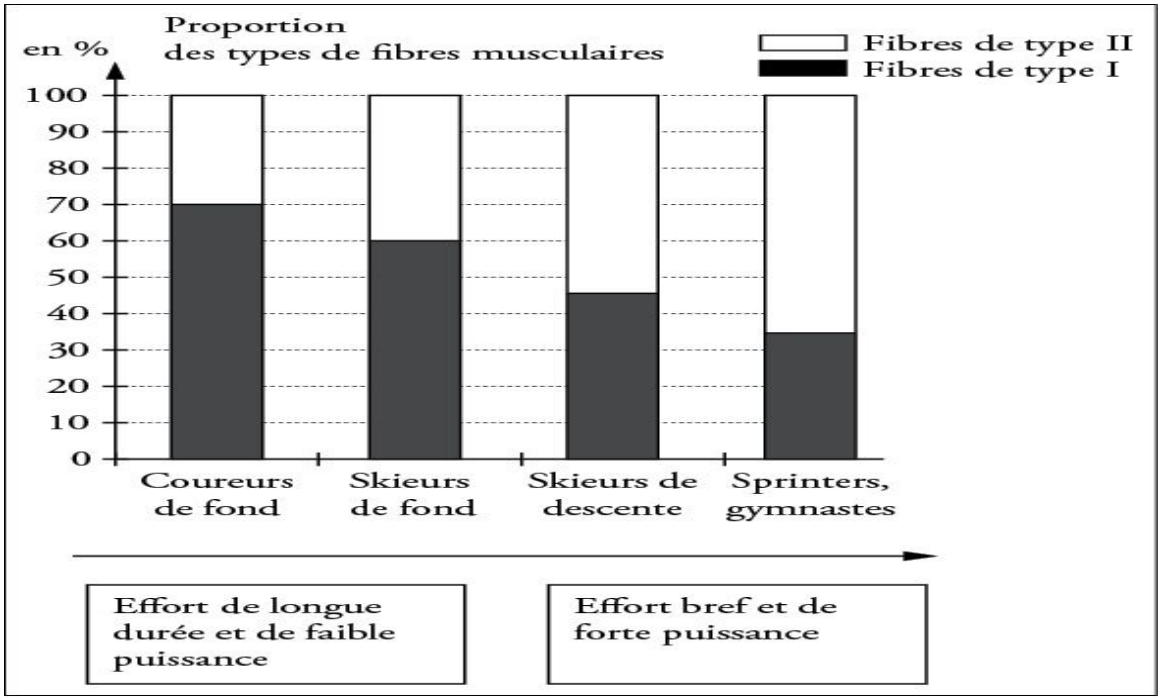
جدول رقم (01): تصنيف مختلف أنواع الألياف العضلية .

Dans le texte nous avons utilisé le système 1 de classification des fibres musculaires , d'autre système sont souvent utilisés le système 2 classe les fibres lentes ST en type I et les fibres rapides FT en type IIa et IIb. Le système 3 classe les fibres musculaires selon leur vitesse de contraction et leur mode principale de production d'énergie. Les fibres lentes deviennent alors les fibres SO (slow ou lentes et oxydatives) , les fibres FTa sont appelée FOG (faste ou rapides , oxydatives et glycolytiques) , enfin les fibres FTa sont classées en FG (faste ou rapides et glycolytiques)

Classification des fibres			
Système 1	ST	FTa	FTb
Système 2	Type I	Type IIa	Type IIb
Système 3	SO	FOG	FG
Caractéristiques			
Capacité oxydative	Élevée	modérée	Faible
Capacité glycolytique	faible	élevée	Très élevée
Vitesse de contraction	lente	rapide	Rapide
Résistance a la fatigue	élevée	modérée	Faible
Force développée par unité motrice	faible	élevée	élevée

جدول رقم (02): نسبة الألياف العضلية المستخدمة لمجموعة مختلفة من الاختصاصات الرياضية .

Athlète	Sexe	Muscle	%ST	%FT	Surface de section (μm^2)	
					ST	FT
Sprinters	M	Jumeaux	24	76	5,878	6,034
	F	Jumeaux	27	73	3,752	3,930
Coureurs de fond	M	Jumeaux	79	21	8,342	6,485
	F	Jumeau	57	43	6,333	6,116
	F	Vaste externe	51	49	5,487	5,216
Nageurs	M	Deltoïde postérieur	67	33	—	—
Haltérophiles	M	Jumeaux	44	56	5,060	8,910
	M	Deltoïde	53	47	5,010	8,450
Triathlètes	M	Deltoïde postérieur	60	40	—	—
	M	Vaste externe	63	37	—	—
	M	Jumeaux	59	41	—	—
Canoéistes	M	Deltoïde postérieur	71	29	4,920	7,040
Lanceur de poids	M	Jumeaux	38	62	6,367	6,441
Non entraînés	M	Vaste externe	47	53	4,722	4,709
	F	Jumeaux	52	48	3501	3141



صورة رقم (18): نسبة أنواع الألياف العضلية المستخدمة حسب مجموعة من الاختصاصات الرياضية (عدائي المسافات الطويلة، التزحلق على الثلج لمسافات طويلة، التزلج على المنحدرات، عدائي السرعة و الجمباز).

1-3 خصائص الألياف العضلية السريعة والبطيئة (FT et ST):

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

1-1-3 أنزيم ATP ase :

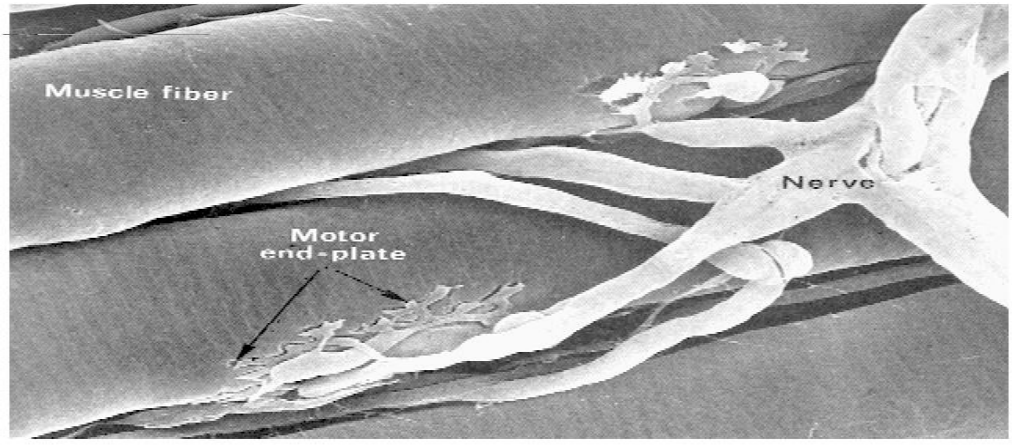
سرعة التقلص هي التي تفرق بين الألياف البطيئة والسريعة بحيث يحتوي كل نوع على شكل مختلف لأنزيم ATP ase و هو المسئول عن تحفيز هدم الـ ATP الذي يسمح بتوفير الطاقة اللازمة للتقلص العضلي أو الاسترخاء ، تحتوي الألياف البطيئة على شكل بطيء لأنزيم ATP ase أما الألياف السريعة تحتوي على شكل سريع لهذا الأنزيم . و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

2-1-3 الشبكة الاندوبلازمية (Le réticulum sarcoplasmique):

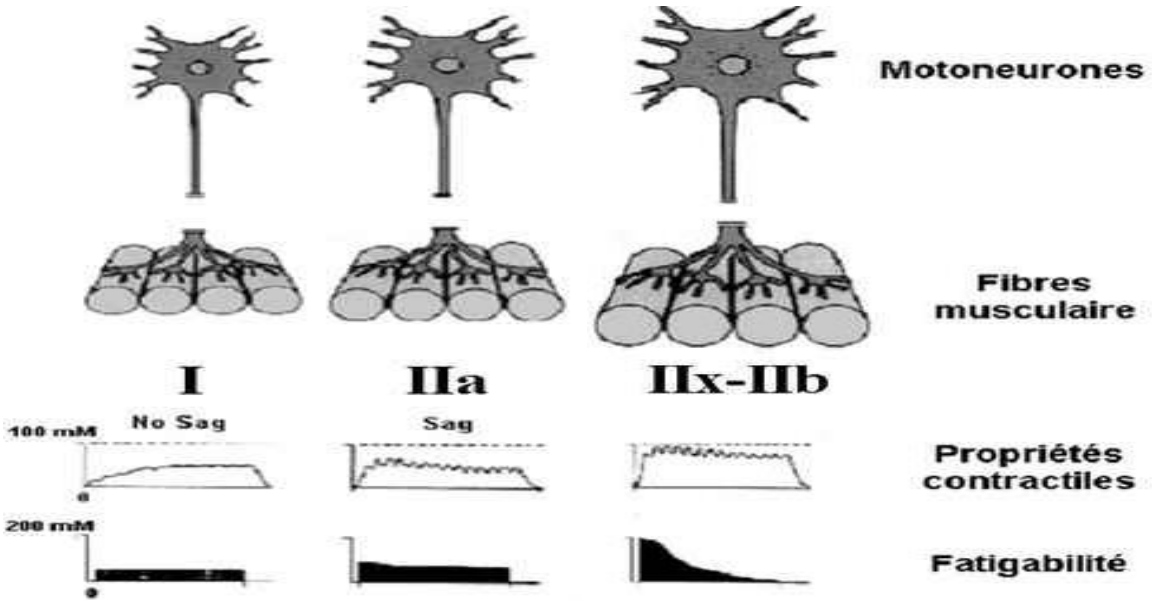
تحتوي الألياف العضلية من النوع FT على شبكة أند وبلازمية أكثر تطورا من تلك الموجودة في الألياف العضلية ST، كما تعتبر الألياف FT أحسن تكيف من أجل تحرير كالسيوم الشبكة الاندوبلازمية أثناء تنبيه العضلة هذا ما يسمح بتقلص سريع للألياف من النوع FT و بالنسبة للإنسان تتميز هذه الألياف بسرعة تقلص 5 إلى 6 مرات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

3-1-3 الوحدات الحركية (Les unités motrices):

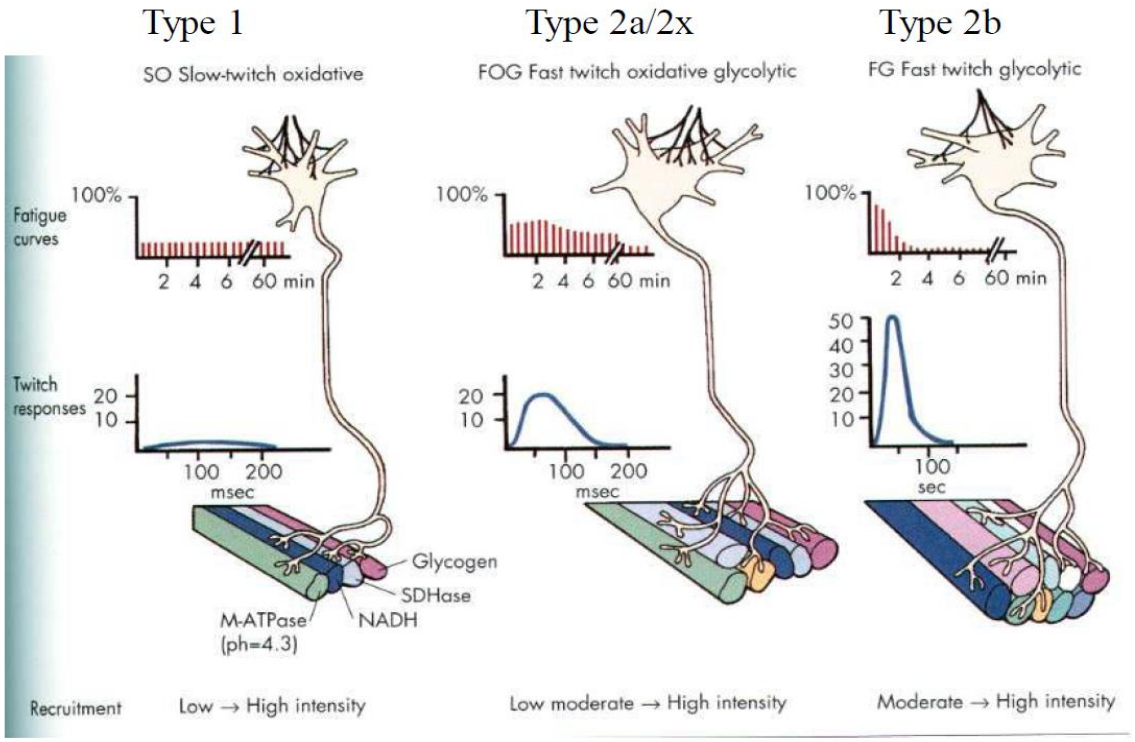
نذكر بأن الوحدة الحركية تتكون من عصبون حركي وألياف عضلية، في الألياف العضلية البطيئةST يكون حجم الجسم الخلوي في العصبون الحركي صغير حيث ينبه حوالي مجموعة من الألياف تصل من 10 إلى 180 ليف والعكس بالنسبة للألياف السريعة FT في الوحدة الحركية للعصبون الحركي يكون الجسم الخلوي أكبر حجما مع محور أكثر عرضا بحيث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



صورة رقم (19): اللوحات المحركة على مستوى الألياف العضلية .



صورة رقم (20): الفرق في حجم الجسم الخلوي و سمك المحور للعصبونات الحركية المحفزة لمختلف أنواع الألياف العضلية .



S : Slow FR : Fast fatigue Resistant FF : Fast Fatiguable

صورة رقم (21): توضيح منحنى التعب، الاستجابة و الاستخدام بين مختلف الألياف العضلية من النوع (I، IIa، IIb).

جدول رقم (03): المقارنة بين خصائص الألياف العضلية من النوع ST و الألياف من النوع FT.

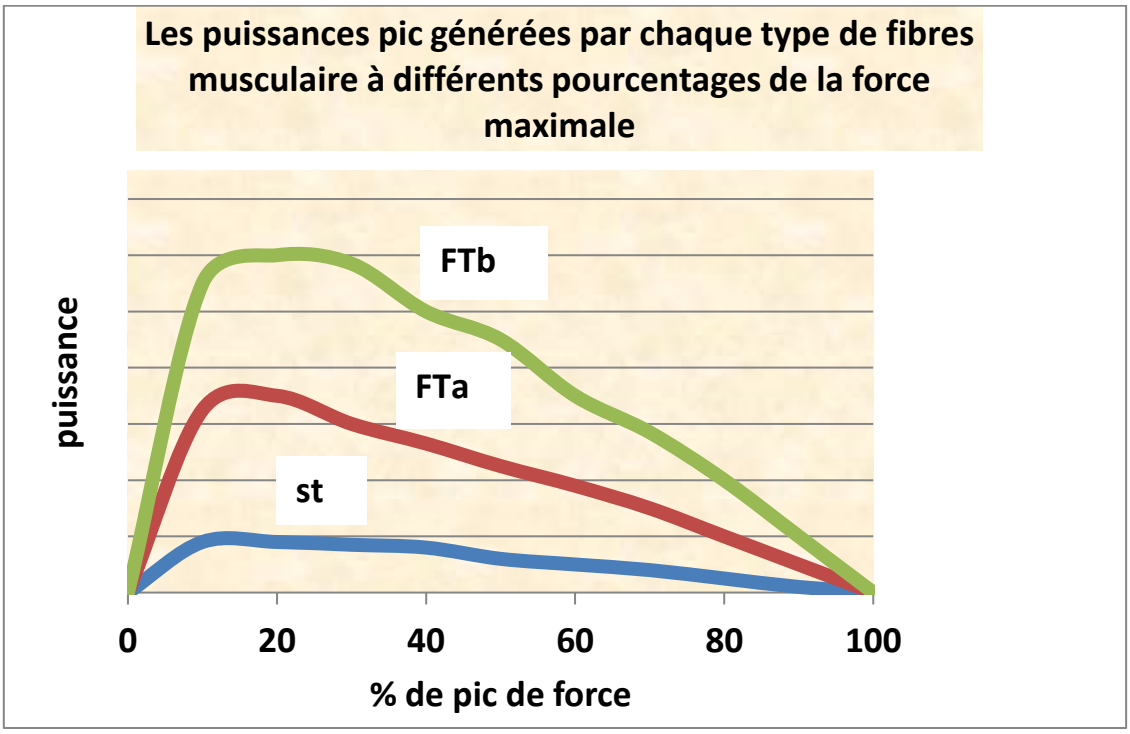
الألياف العضلية من النوع (slow twitch (I) ST).	الألياف العضلية من النوع (II) السريعة (Fast twitch , FT)
تقلص بطيء	تحتوي على عدد كبير من الليفات.
لون أحمر.	الشبكة الاندوبلازمية أكثر تطورا و الساركوبلازم أقل حجما .
تحتوي على عدد كبير من الساركولام.	تحتوي تقريبا على حجم مماثل للجليكوجين مثل ما هو عليه في الألياف من النوع (I) و تفتقر إلى ثلاثي الغليسريد.
محتوى الليفات العضلية يكون ضعيف	التطور الجيد للشبكة الاندوبلازمية يسمح بتحرير كميات كبيرة من الكالسيوم
الشبكة الاندوبلازمية أقل تطورا.	تكوين و تشكيل سريع و قوي للمعقد أكتين ميوزين
نشاط أنزيم ATPase ضعيف	تتميز بصغر حجم الميتوكوندري
قدرة ضعيفة في نقل الكالسيوم.	عمليات التمثيل الهوائي تكون ضعيفة
الألياف العضلية من النوع (I) slow (twitch, ST)	الألياف العضلية من النوع (II) السريعة (Fast twitch , FT)
تحتوي الساركوبلازم على عدد كبير و ضخم من الميتوكوندري	لا تقاوم التعب مثل ما هو عليه الحال في الألياف البطيئة (ST).
تكون غنية بالجليكوجين العضلي و الثلاثي غليسريد	تحتوي على نوع سريع لأنزيم (ATP ase).
لديها إمكانيات كبيرة في عمليات الفسفرة التأكسدية.	الجسم الخلوي للوحدات الحركية يتميز بكبر الحجم بحيث يحفز حوالي 800 ليف عضلي
تحتوي على كميات كبيرة من الميوقلوبين.	تتميز هذه الألياف بتروبونين سريع العمل.
تكون هذه الألياف غنية بشبكة كبيرة من الشعيرات الدموية.	
تحتوي على نوع بطيء لأنزيم ATP ase.	
تحتوي الوحدات الحركية على جسم خلوي صغير الحجم .	
يحرض الجسم الخلوي من 10 إلى 180 ليف عضلي.	

جدول رقم (04): المقارنة بين خصائص الألياف العضلية من النوع FTa و الألياف من النوع FTb.

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

جدول رقم (05): الخصائص البنيوية و الوظيفية لمختلف أنواع الألياف العضلية حسب (Close R, 1967).

Type de fibre			
Caractéristiques	**ST**	**FTa**	**FTb**
Nombre de fibres par motoneurone	**10-180**	**300-800**	**300-800**
Taille du motoneurone	**petite**	**important**	**Important**
Vitesse de contraction nerveuse	**lente**	**rapide**	**Rapide**
Vitesse de contraction (ms)	**110**	**50**	**50**
Type de myosine ATP ase	**lente**	**rapide**	**Rapide**
Dimension du réticulum sarcoplasmique	**Petites**	**importantes**	**Importantes**
Force de l'unité motrice	**faible**	**important**	**important**



صورة رقم (22): القوة المنتجة لكل نوع من الألياف العضلية عند نسب مختلفة من القوة القصوى .

2-3 تحفيز الألياف العضلية (Recrutement des fibres musculaire):

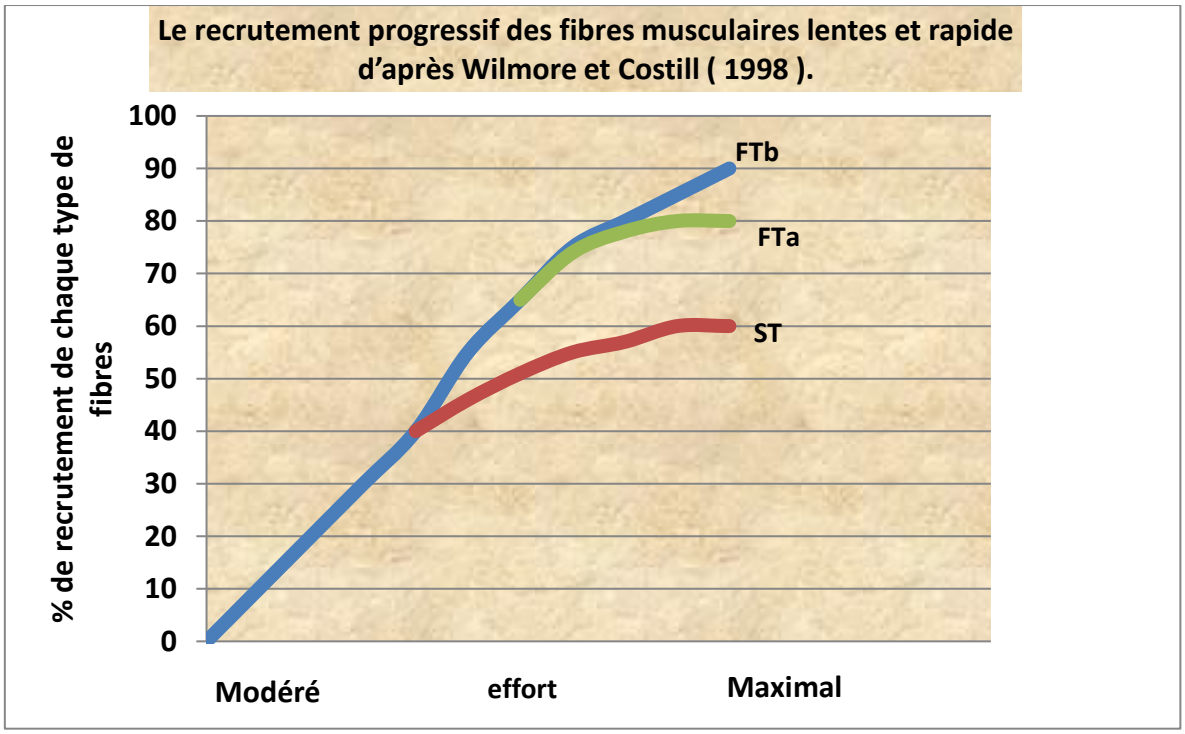
عندما يحفز العصبون الحركي ليف عضلي بشدة صغيرة للتنبيه تسمى هذه الحالة عتبة التنبيه وهو مهم من أجل تحريض الاستجابة وإذا كانت شدة التنبيه ضعيفة أي أقل من العتبة لا توجد عملية تقلص عضلي وعلى العكس من أجل كل تحريض أو تنبيه يفوق أو يساوي العتبة تحدث عملية تقلص قصوى على مستوى الليف العضلي وهذا ما يفسر بقانون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

3-3 نظام ونسق تحفيز الألياف العضلية ومبادئ الحجم (Ordre de recrutement des fibres musculaires et principe de taille):

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

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

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



صورة رقم (23): التجنيد التدريجي للألياف العضلية البطيئة و السريعة (Wilmore et costil, 1998).

4- التضخم العضلي (L'hypertrophie musculaire):

هناك نوعان من التضخم العضلي التي يمكن أن نلاحظها وهي:

1-4 تضخم وقتي أو انتقالي (Hypertrophie transitoire):

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

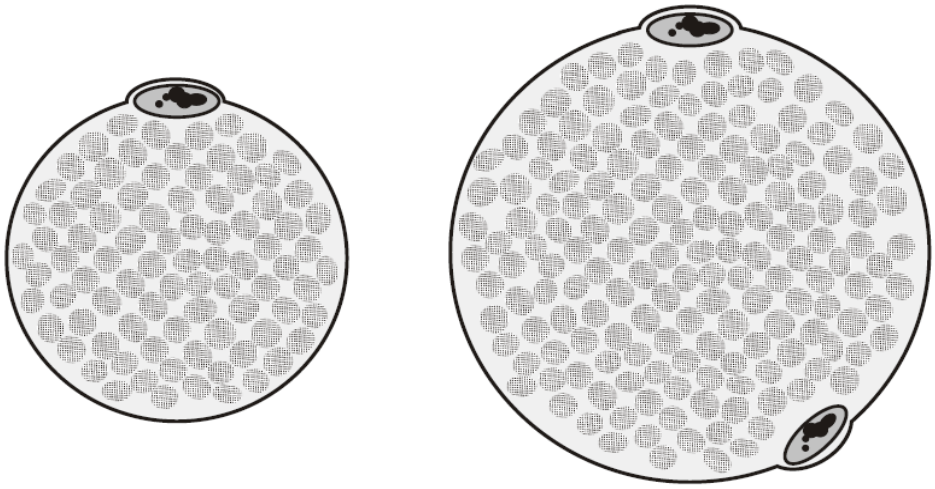
2-4 تضخم مستمر و مزمن (Hypertrophie chronique):

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

3-4 تضخم الألياف العضلية (Hypertrophie des fibres musculaire):

يفسر تضخم العضلة رئيسيا إلى العوامل التالية:

1- زيادة عدد الليفات العضلية .
2- زيادة عدد خيوط الاكتين و الميوزين.
3- زيادة الحجم الساركوبلازمي .
4- زيادة في النسيج الضام.
5- تدخل عوامل أخرى مختلفة .



صورة رقم (24): تضخم الألياف العضلية (زيادة عدد الليفات العضلية).

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

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

1-3-4 يحدث تضخم الألياف العضلية في شكلين متزامنين :

أ- زيادة كثافة الألياف العضلية :

يظهر من خلال زيادة عدد خيوط الأكتين و الميوزين بتصنيع متزايد للبروتينات التقلصية حيث نلاحظ:

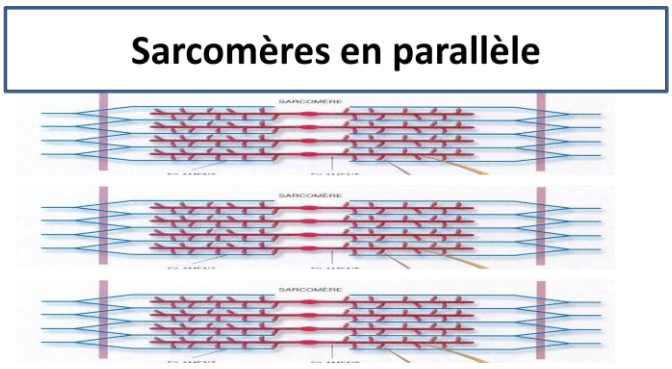
- تتراكم الخيوط الجديدة في محيط الليفات العضلية الموجودة
- زيادة عدد الليفات في الليف العضلي وهذا ما يرفع من حجمه.

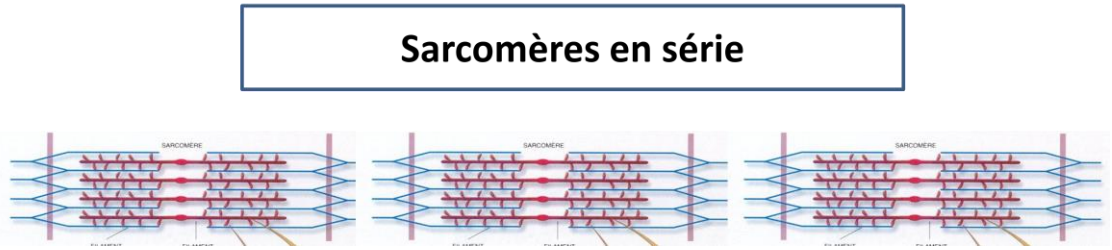
ب- زيادة المساحة المربعة للعضلة:

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

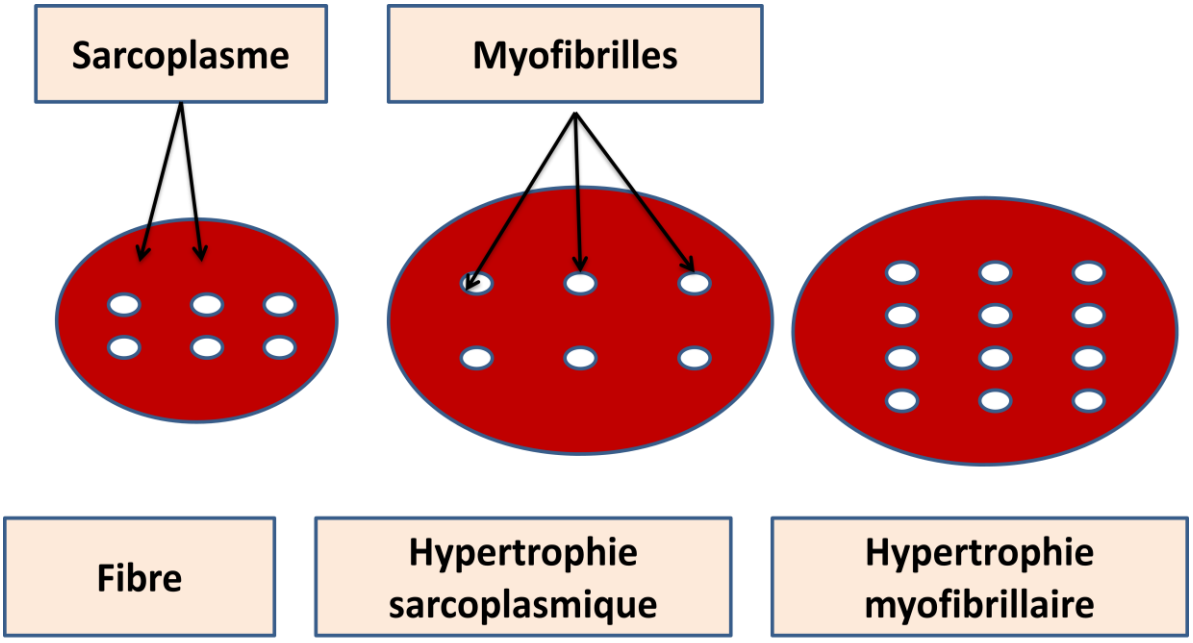
2-3-4 زيادة تضخم الساركوبلازم :

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

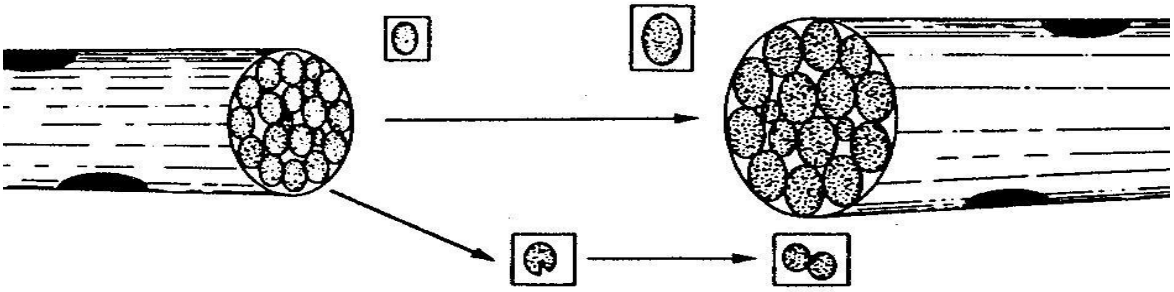




صورة رقم (25): التضخم العضلي الحاصل على مستوى الوحدات التقلصية في شكل متوازي و في شكل سلسلة.



صورة رقم (26): التضخم العضلي الساركوبلازمي وفي الليفات العضلية.



صورة رقم (27): زيادة حجم و عدد الليفات العضلية .

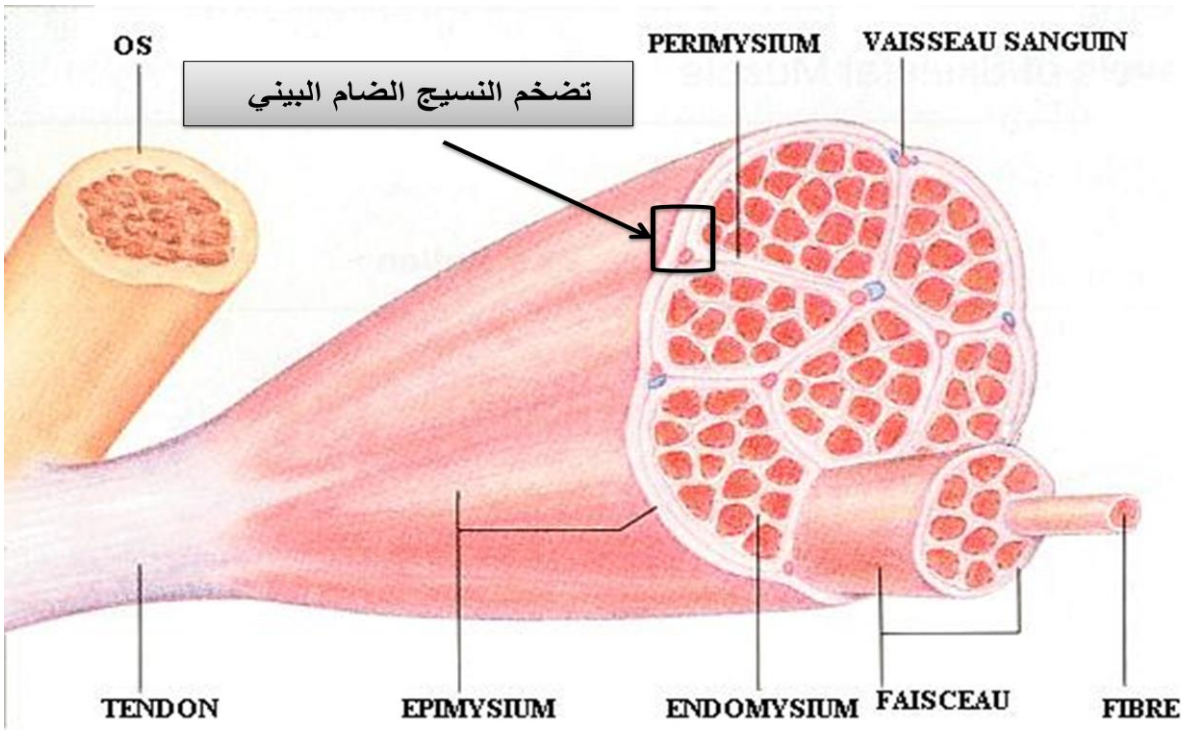
3-3-4 تضخم النسيج البيني للألياف العضلية (Une hypertrophie du tissu conjonctif):

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

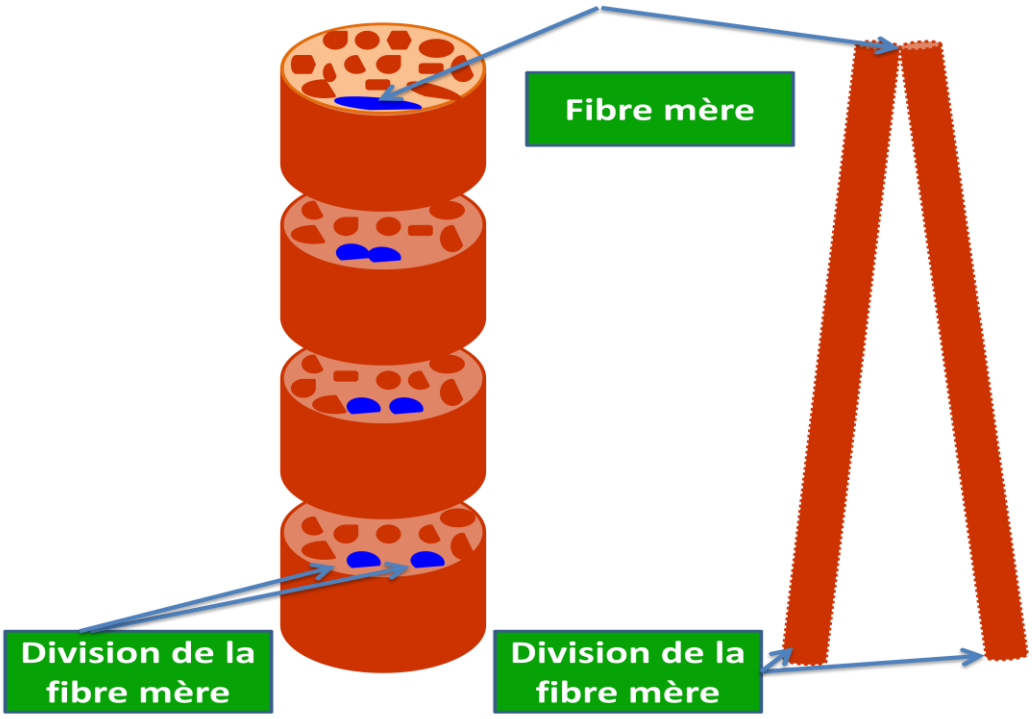
4-3-4 انقسام الألياف العضلية (Hyperplasie des fibres musculaires):

دلت بعض الدراسات لدى الحيوانات على حدوث عملية انقسام الألياف العضلية مما يؤدي إلى تضخم الحجم العضلي وهذا ما لوحظ في تجربة أجريت على القط بعد مدة من التدريب بشدة عالية حيث يعمل هذا القص على تحريك حمولة ثقيلة هذا ما سمح بتطوير ملاحظ للقوة مع انقسام بعض الألياف العضلية.

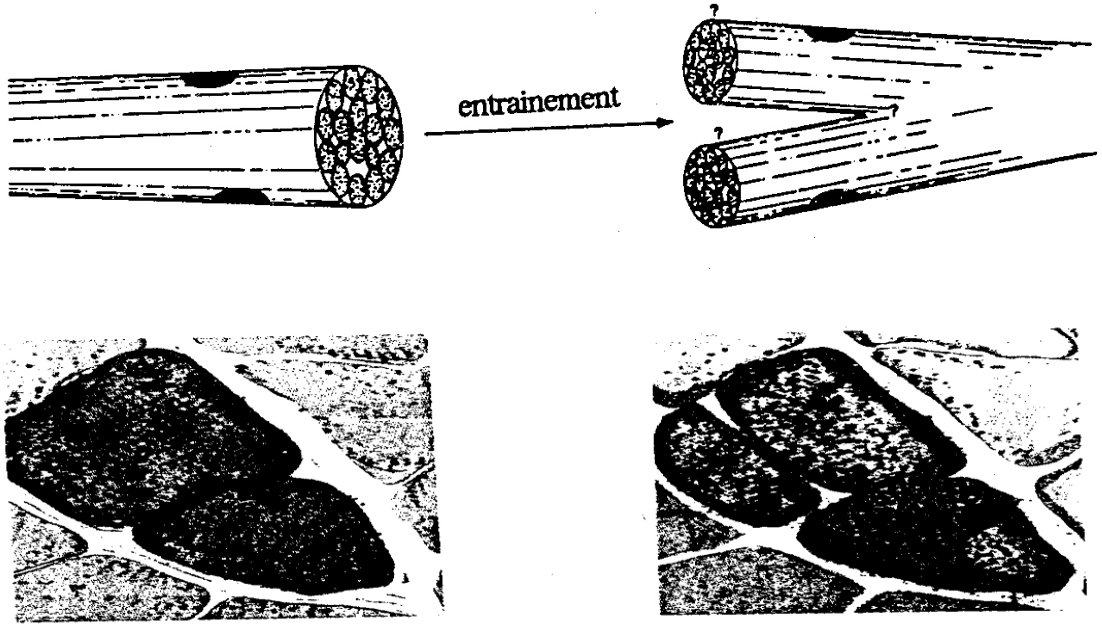
و في دراسة أخرى كشفت عملية الانقسام لدى الإنسان بعد مدة من التدريب الشاق للقوة والمرتفع الشدة، تم أخذ 12 شخص مع تدريب لمدة 12 أسبوع، أدى هذا التدريب إلى زيادة ملاحظة في عدد الألياف العضلية في اليد (biceps brachial) ، هذا يدل على حدوث عملية الانقسام ولكن لبعض الأشخاص فقط وفي ظروف تدريبية خاصة، حيث تعمل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



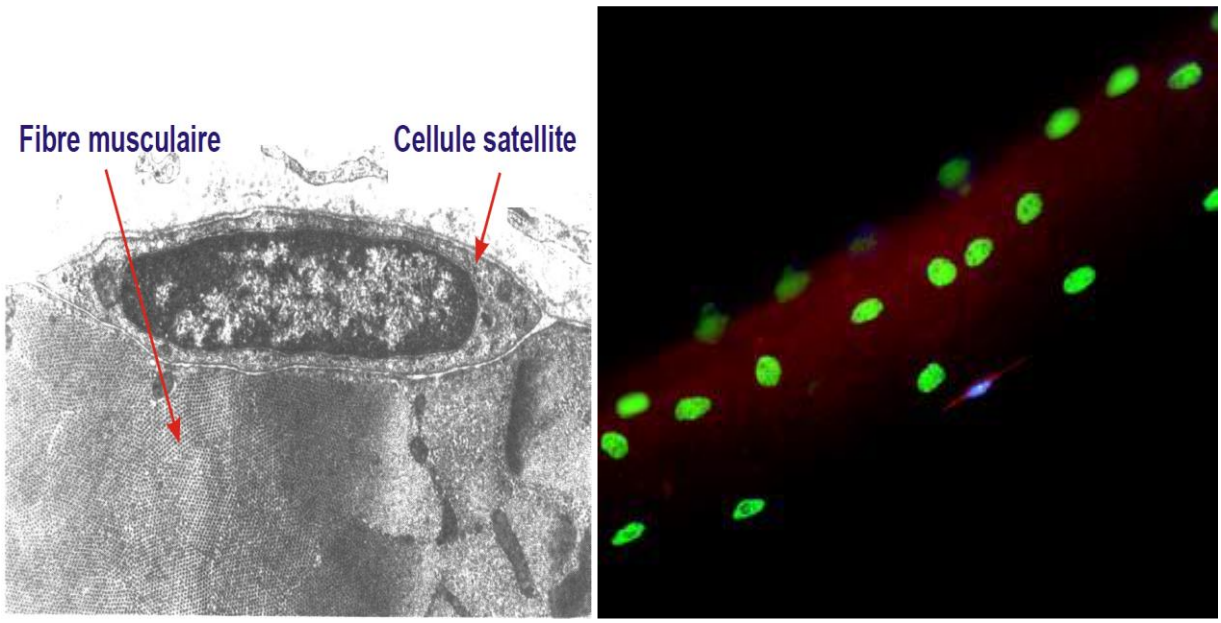
صورة رقم (28):طبقات النسيج الضام التي تغلف العضلة (Epymusium)، الحزم العضلية (Périmysiume)، و الألياف العضلية (Endomysium). حيث أن تدريب القوة يرفع من سمك و كثافة النسيج الضام .



صورة رقم (29): انقسام الليف العضلي الأم. حيث يظهر الليف العضلي باللون الأزرق في الحزمة العضلية أين تتم عملية الانقسام إلى جزأين.



صورة رقم (30): مقطع عرضي يوضح انقسام الليف العضلي .



صورة رقم (31): موقع الخلايا المستشعرة (cellule satellite) على مستوى الليف العضلي.

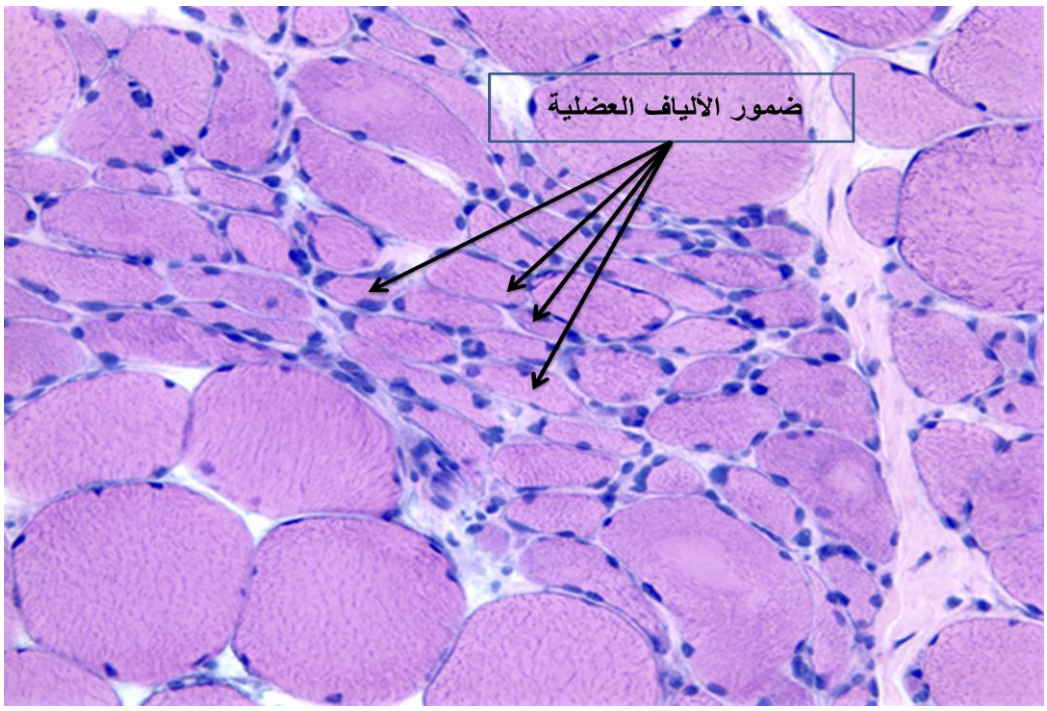
5-الضمور وتوقف النمو العضلي (L'atrophie musculaire):

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

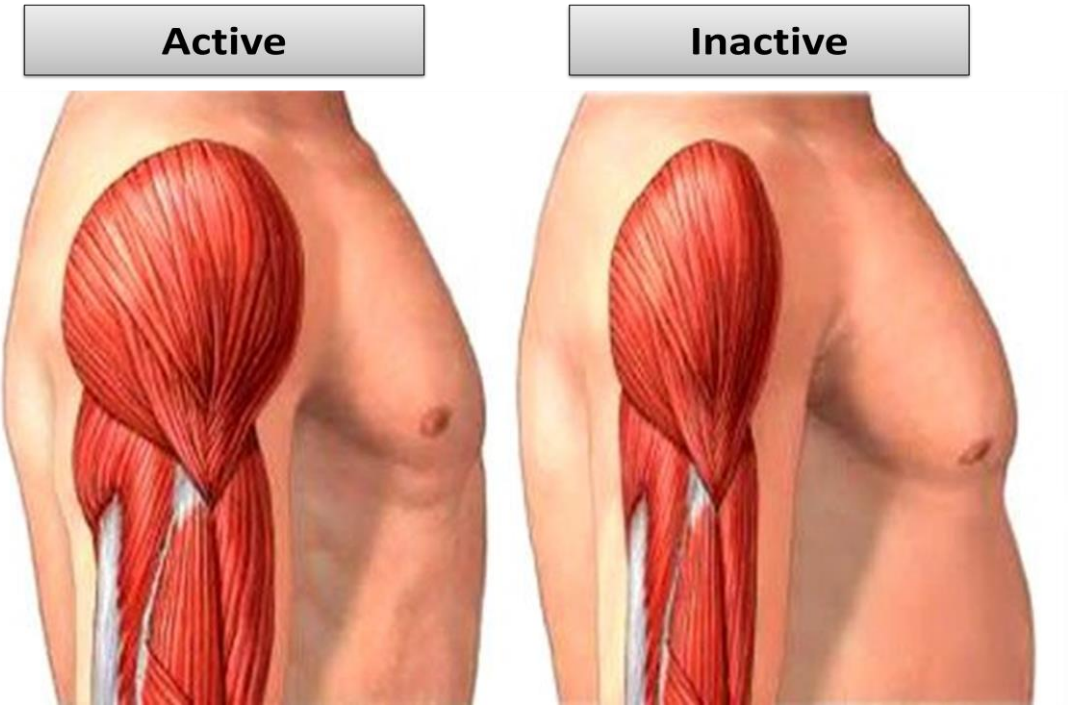
1-5 التوقف وعدم أداء النشاط (L'immobilisation):

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

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



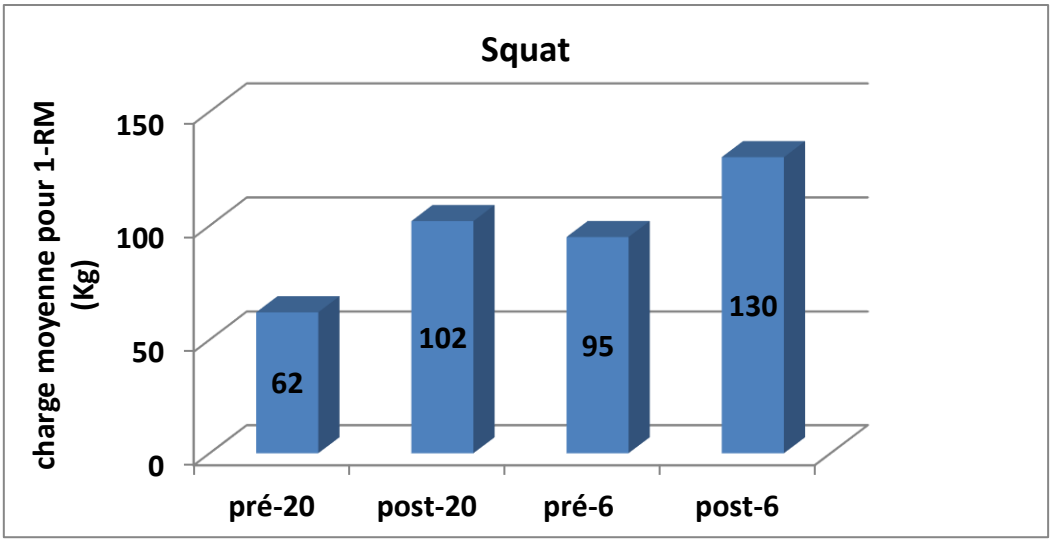
صورة رقم (32): ضمور و توقف النمو العضلي .



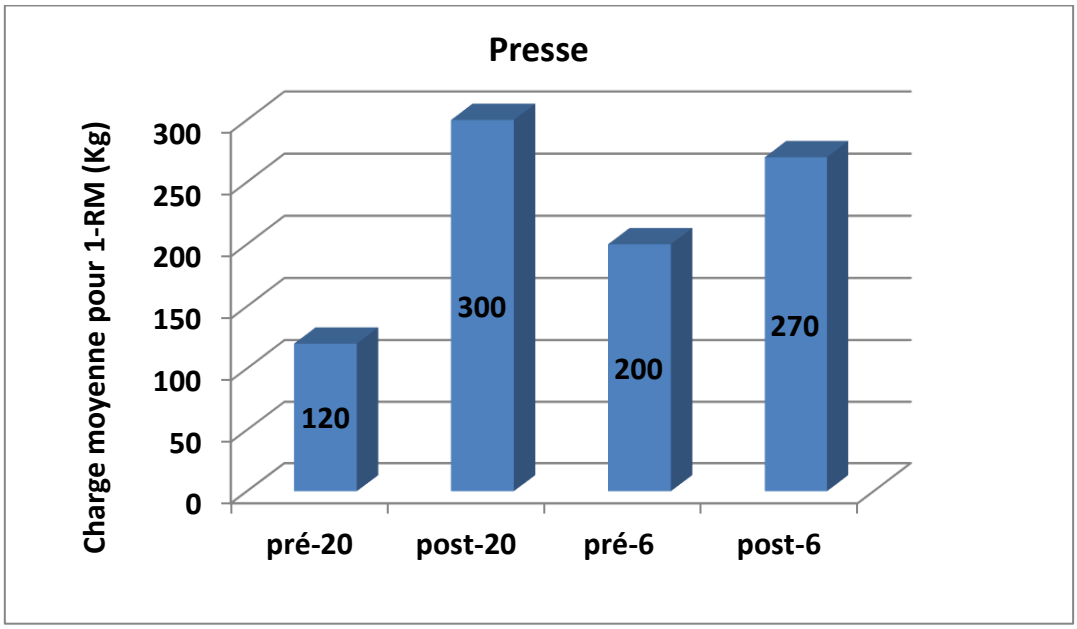
صورة رقم (33): الضمور العضلي بعد التوقف من عملية التدريب العضلي (Harvey S, 2015).

2-5 التوقف من التدريب (L'arrêt de l'entrainement):

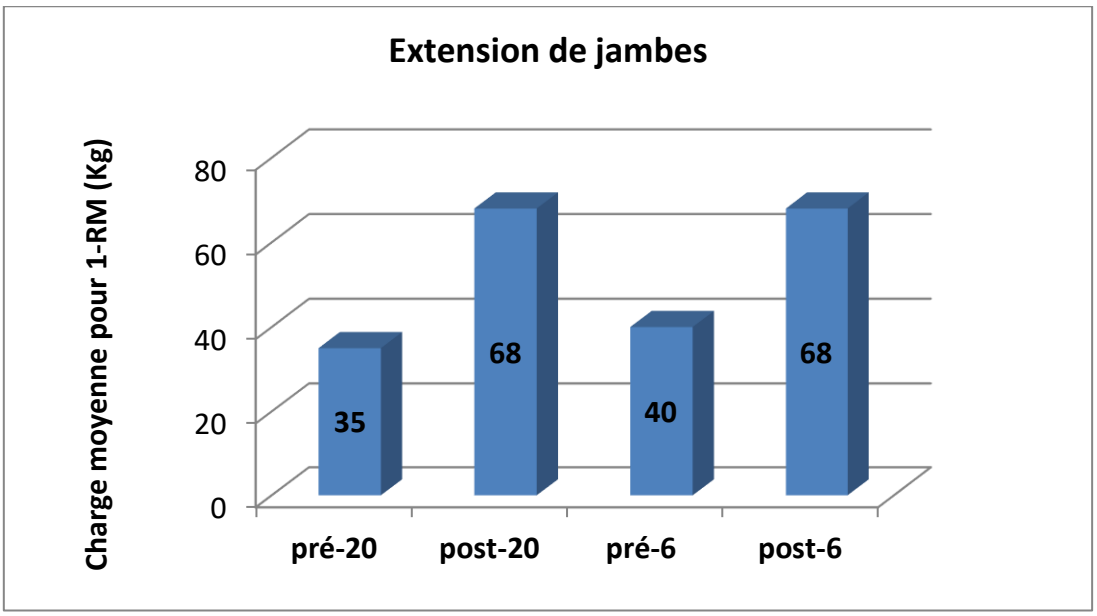
في دراسة أجريت على الإناث، تأثير التدريب الرياضي للقوة لمدة 20 أسبوع بعد ذلك التوقف لمدة 30 إلى 32 أسبوع، ثم الرجوع إلى التدريب لمدة 6 أسابيع، هذا البرنامج التدريبي خاص بالجزء السفلي فقط(squats, la presse , extensions des membres inférieures)، في المرحلتين الخاصتين بالتدريب نلاحظ تطور القوة مع زيادة مصاحبة في مساحة كل الألياف العضلية مع انخفاض في نسبة الألياف العضلية من النوع ST ، أما في مرحلة عدم التدريب لوحظ تأثير على مساحة وسمك الألياف العضلية مع نقصان في عدد الألياف العضلية من النوع FT.



صورة رقم (): التغيرات الحاصلة في مستوى الحمولة القصوى المرفوعة من التكرارات القصوى (1RM) لدى مجموعة من الإناث عند تمرين الجلوس الخلفي من الوقوف (squat).



صورة رقم (34): التغيرات الحاصلة في مستوى الحمولة القصوى المرفوعة من التكرارات القصوى (1RM) لدى مجموعة من الإناث عند تمرين الدفع من الجلوس على الجهاز (presse).



صورة رقم (35):التغيرات الحاصلة في مستوى الحمولة القصوى المرفوعة من التكرارات القصوى (1RM) لدى مجموعة من الإناث عند تمرين ثني الساقين (extension de jambs).

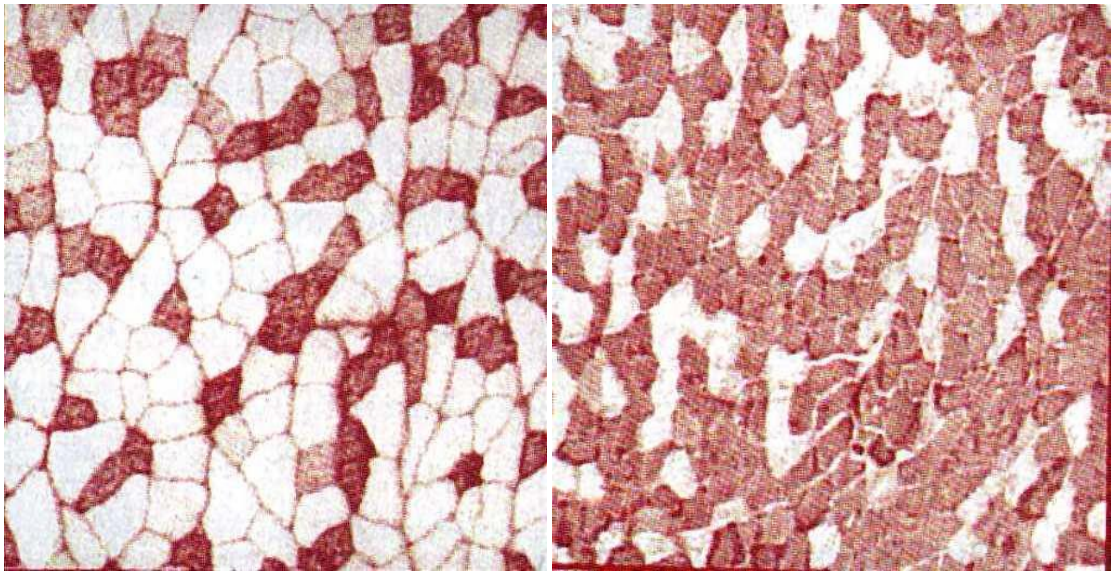
6-التكيفات الخاصة بالجهاز العضلي عند التدريب الهوائي (Les adaptations du système musculaire a l'entrainement aérobie):

6-1 نوعية الألياف (Le type de fibre):

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

يمكن أن يغير تدريب القوة من نوع الألياف العضلية، لدى الحيوان وفي دراسات حديثة التنشيط المتقاطع المتمثل في تحفيز وحدة حركية من النوع FT عن طريق عصبون حركي من النوع ST أو العكس يمكن أن يغير ذلك من نوع الألياف العضلية، كذلك التحفيز المستمر للوحدات الحركية FT عن طريق تحفيز عصبي بوتيرة ضعيفة يحول من الوحدات الحركية FT إلى وحدات حركية ST بعد مدة من الأسابيع، لدى

الفئران نوعية الألياف العضلية تتغير بعد 15 أسبوع من التدريب العالي الشدة على بساط متحرك وهذا بزيادة في عدد الألياف ST و Fta و انخفاض في عدد الألياف من النوع FTb ، هذا التغير في الألياف Ftb نحو الألياف FTa و الألياف Fta نحو الألياف ST تم تأكيده عن طريق مختلف التقنيات الهيستوكيميائية .



صورة رقم (36): زيادة أعداد الألياف العضلية الحمراء تحت تأثير التدريب الهوائي .

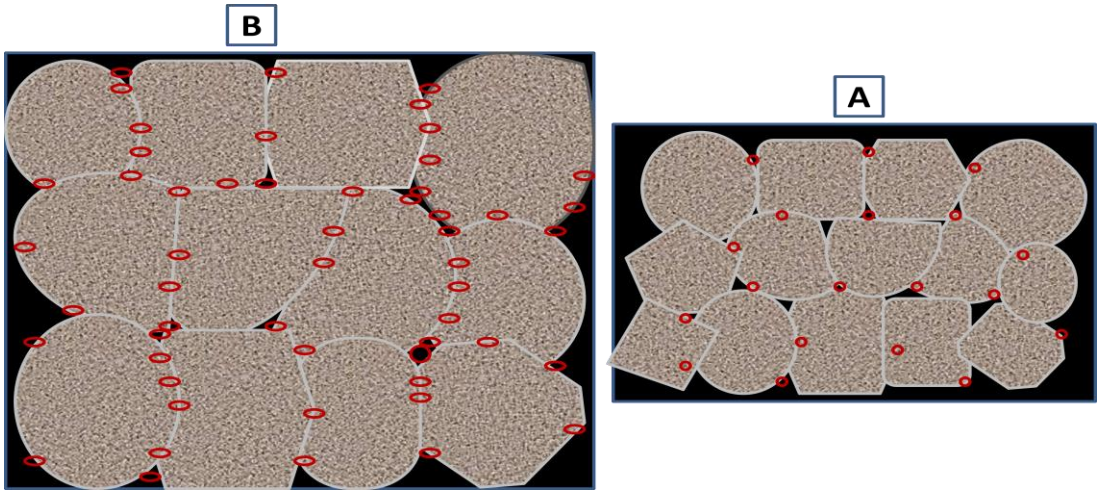
2-6 الدورة الشعيرية (La circulation capillaire):

إن الزيادة في سمك وعدد الشعيرات الدموية في النسيج العضلي يعتبر التحول الرئيسي الحاصل من التدريب الهوائي بحيث يمكن أن تزداد هذه الشعيرات بنسبة 15 % بعد مدة من التدريب الهوائي الطويل والمرتفع الشدة، هذه الزيادة في الشعيرات الدموية تسمح بزيادة مساحة المبادلات الغازية بين الدم والعضلات و كذلك من أجل نقل الحرارة والمواد الغذائية، هذه الزيادة أيضا تسمح بزيادة حجم الأكسجين المستهلك.

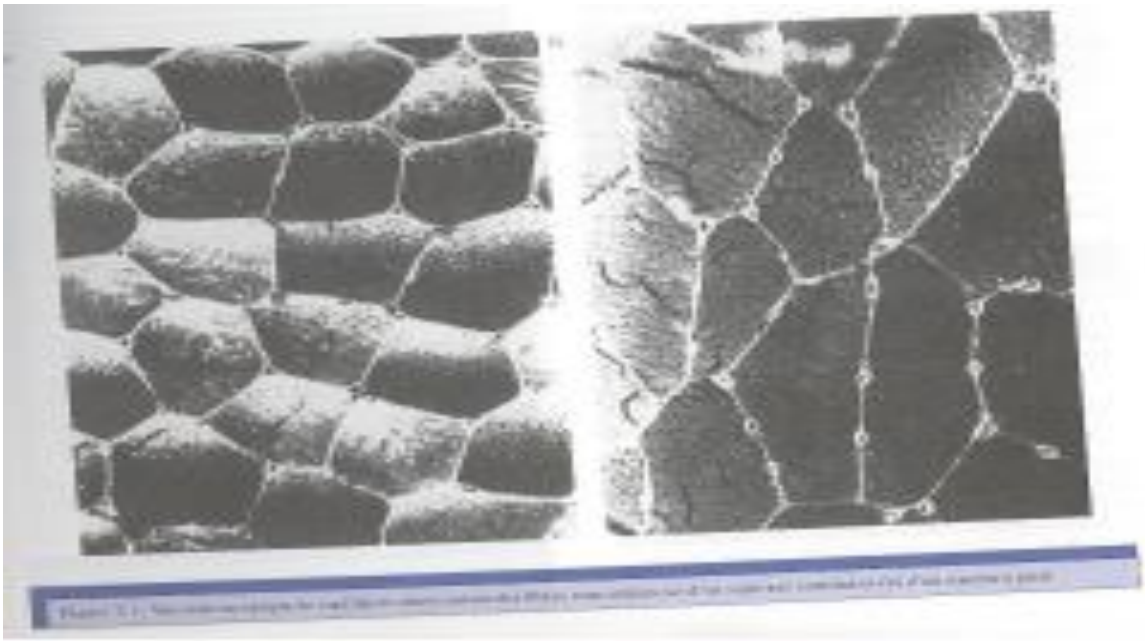
3-6 محتوى الميوقلوبين (La teneur en myoglobine):

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

Vue microscopique de capillaires situés autour des fibres musculaires
(A) d'un sujet non entrainé et (B) d'un coureur à pied



صورة رقم (37): مقطع تخت المجهر للشعيرات المتواجدة في محيط الألياف العضلية (A) شخص لا يتدرب، (B) عداء مسافات طويلة.



صورة رقم (38): زيادة عدد الشعيرات الدموية حيث يعتبر ذلك من التكيفات الرئيسية للتدريب التي تسمح بتفسير زيادة الحجم الأقصى للأكسجين المستهلك (VO_{2max}) .

جدول رقم (06): تدريب التحمل يترجم إلى زيادة في شبكة الشعيرات الدموية للعضلة (Bigard et coll, 1991). الفرق مع الفئران العادية .

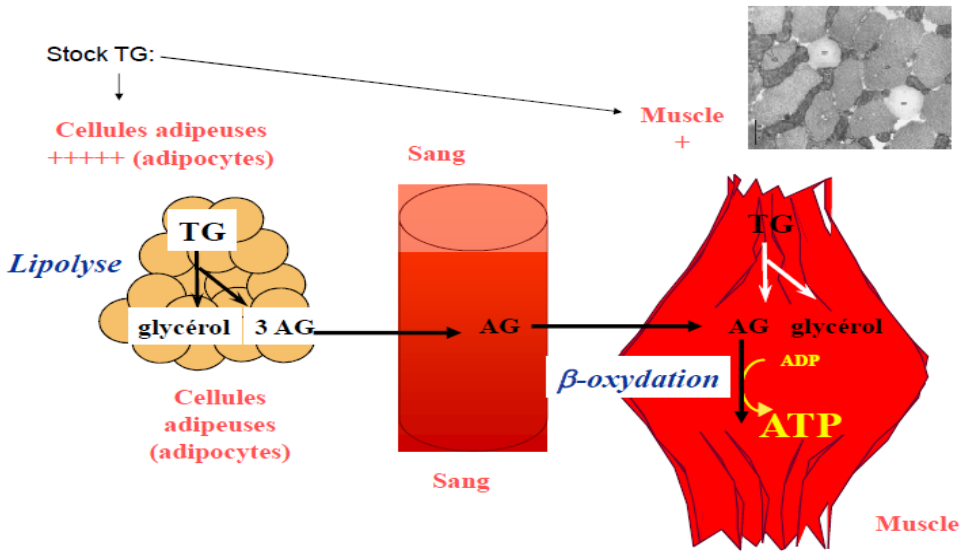
		عادي	متدرب
كثافة الشعيرات الدموية (ملم^2)	العضلة النعلية (soléiare)	29± 834	** 31±1112
	العضلة الأخمصية (plantaris)	43± 784	** 39±1007

4-6 وظيفة الميتوكوندري (La fonction mitochondriale):

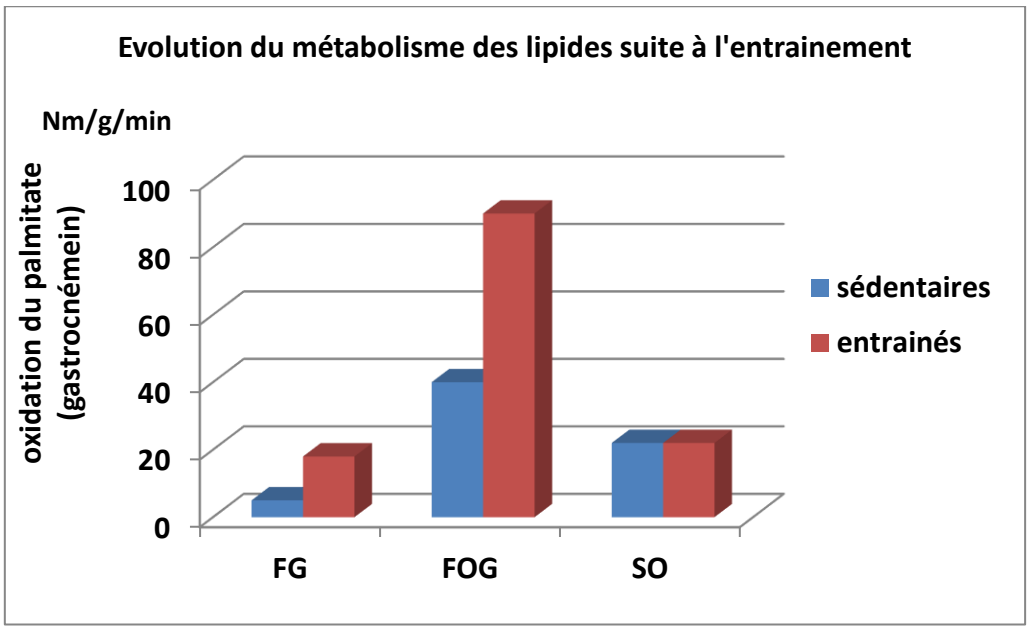
إن إنتاج الطاقة في العمل الهوائي يتم على مستوى الميتوكوندري، تتطلب القدرة على توفير الطاقة عن طريق الآلية الهوائية بتوفر عدد وحجم مهم للميتوكوندري، حيث يعمل التدريب الهوائي على الرفع في هذه الخصائص، وفي دراسة أجريت على الجرذان عدد الميتوكوندري يزداد بـ 15 % بعد 27 أسبوع من التدريب وفي نفس الوقت مساحة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

5-6 الأنزيمات المؤكسدة (Les enzymes oxydatives):

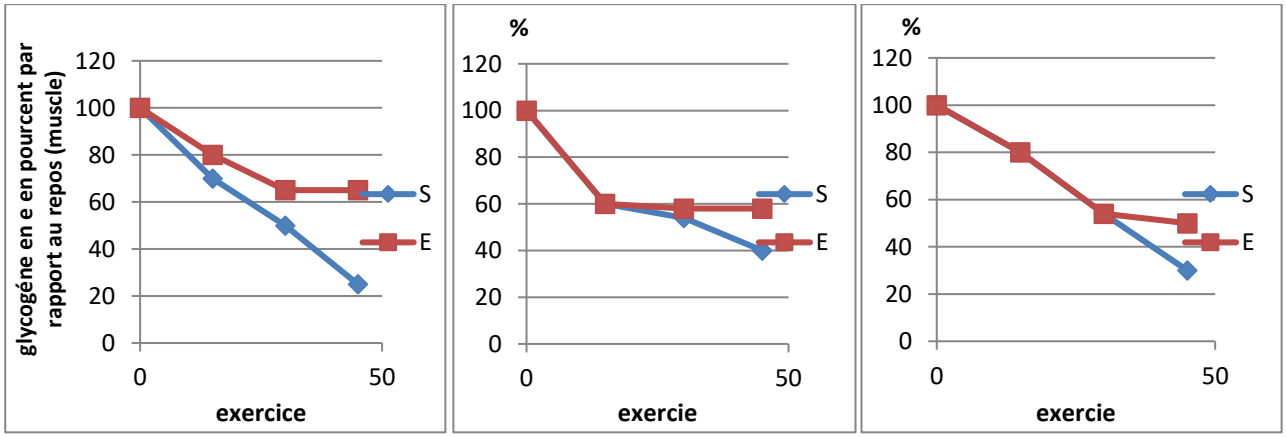
إن الزيادة في عدد وحجم الميتوكوندري يعمل على الرفع من فعاليتها و هذا ما يحسن من الكفاءة الهوائية في العضلة، يرفع التدريب الهوائي من نشاط الأنزيمات المؤكسدة في الميتوكوندري ، و من بين هذه الأنزيمات نجد (la succinate déshydrogénase SDH, sytrate-synthase)، في دراسة أجريت عند أداء تمرينات الجري أو الدراجة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



صورة رقم (39): مخطط يوضح كيفية تأثير تدريب التحمل الهوائي بزيادة نسبة أكسدة الدهون.



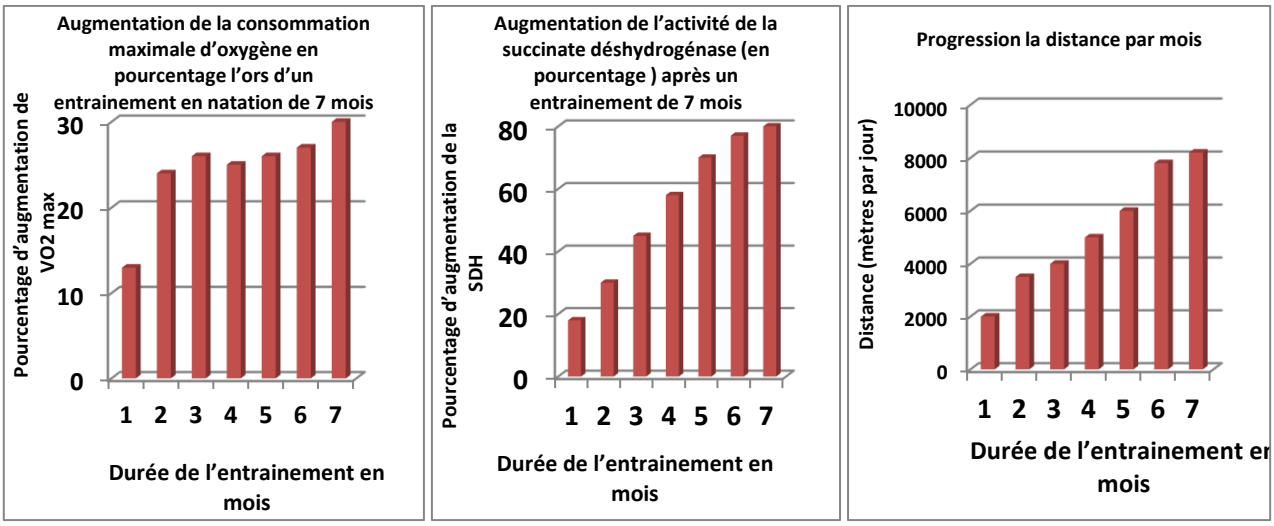
صورة رقم (40): تطور أكسدة الحمض الذهني (palmitate) لدى الجرذان (عضلة الساق) بعد تدريب التحمل حسب (Baldwin et al, 1977).



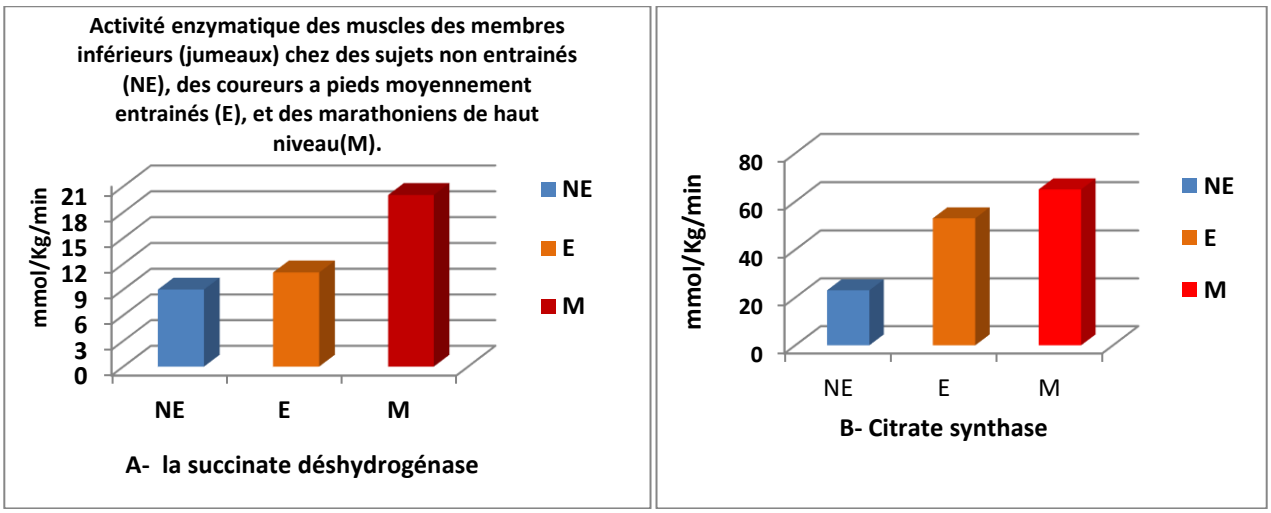
صورة رقم (41): نفاذ الجليكوجين العضلي لدى الجرذان قبل و بعد التدريب الهوائي ، (s) عادي، (E) متدرب، الأكسدة الجيدة للدهون تسمح بتوفير و الحفاظ على الجليكوجين، حسب (Baldwin et al , 1975).

جدول رقم (07): نشاط الأنزيمات العضلية (ملي مول\غ\د) لدى شخص لا يتدرب، عدائي السرعة، و التحمل الهوائي.

	لا يتدرب	عدائي السرعة	التحمل الهوائي
الأنزيمات الهوائية: **الجهاز الهوائي** **Succincte déshydrogénase** **Malate déshydrogénase** **Carnitine palmyltransférase**	8,1 46,6 1,6	8,0 46,0 1,5	20,8 65,5 2,3
الأنزيمات اللاهوائية : **جهاز ATP-CP** **Créatine phosphokinase** **Myokinase**	609,0 309,0	702,0 350,0	589,0 297,0
جهاز الجلكزة اللاهوائية			
Phosphorylase **Phosphofructokinase** **Lactate déshydrogénase**	5,3 19,9 766,0	5,8 29,2 811,0	3,7 18,9 621,0



صورة رقم (42): زيادة الاستهلاك الأقصى للأكسجين و نشاط أنزيم (succincte déshydrogénase) بالنسبة المئوية مع تحسن مسافة السباحة في الشهر . أثناء تدريب سباحة لمدة 7 أشهر .



صورة رقم (43): نشاط أنزيمات عضلات الجزء السفلي (التوأمان) لدى أشخاص لا يتدربون (NE)، عدائي الجري متوسطي التدريب (E)، و عدائي المراطون في المستوى العالي (M).

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

7-1 نوع الألياف العضلية :

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

في دراسة staron et coll، تم التوضيح جيدا لعملية تحول الألياف العضلية، لدى الإناث بعد تدريب للقوة بحمولات وشدة مرتفعة لمدة 20 أسبوع كان هناك زيادة في القوة الثابتة وفي مساحة كل أنواع الألياف العضلية للجزء السفلي، هذه التغيرات وجدت في عدة دراسات، و في أبحاث اخرى وجدت أن تدريب القوة بحمولات مرتفعة و تمرينات السرعة يمكن أن يحدث عنه تحول في الألياف من النوع ST نحو الألياف Fta.

7-2 التكيفات الأيضية للتدريب اللاهوائي :

7-2-1 تكيفات جهاز (ATP-CP):

تدريب السرعة يحسن من هذه الآلية وذلك من خلال زيادة مخزون الـATP و CP و زيادة نشاط أنزيمات الرئيسية في هذا المسار منها أنزيم ATPase و أنزيم الميوكيناز (MK) و أنزيم الكرياتين كيناز (CK أو CPK) لإعادة تصنيع الـATP.

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

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

2-2-7 تكيفات جهاز الجلكزة اللاهوائية :

من بين التكيفات الحاصلة على مستوى جهاز الجلكزة اللاهوائية هو زيادة نشاط أنزيمات الجلكزة، حيث أن التدريب لمدة المتكرر لمدة 30 ثانية يرفع بنسبة 10 إلى 25% من نشاط هذه الأنزيمات\ مع تغير ضعيف عند التدريب المتكرر لمدة 6 ثواني أو أقل . كما أن نشاط أنزيمات المهمة في الجلكزة اللاهوائية يكون أكثر ارتفاعا لدى رياضيي السرعة مقارنة برياضيي التحمل.

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

3-2-7 تكيفات جهاز التوازن الحامضي القاعدي:

زيادة القدرات اللاهوائية اللبنية بسبب التدريب يؤدي إلى تراكم حمض اللبن في العضلة بعد ذلك في الدم مما يسهل عملية التخلص منه. حيث يرتفع نشاط جهاز التعديل الحامضي القاعدي (systèmes

tampons) بنسبة 12 إلى 15% (Charp et al, 1986)، و بالتالي إمكانية استمرارية الجهد البدني لمد أطول لدى الأشخاص المتدربين.

المحور الثالث : التكيفات التنفسية للتدريب الرياضي(الجهد البدني)

Adaptation respiratoires à l’entraînement sportives (l’effort physique)

مقدمة :

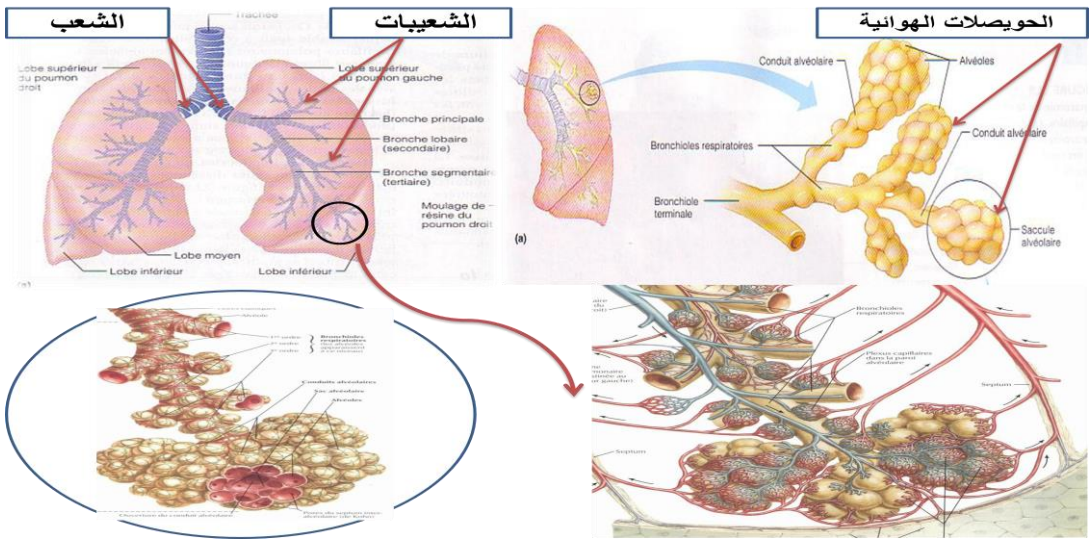
يعرف الجهاز التنفسي على أنه الجهاز الرئوي الذي يستخدم للتنفس. القصبة الهوائية و الرئتين هما الأجزاء الرئيسية للجهاز التنفسي. و عندما تستنشق الهواء عن طريق الفم أو الأنف ينتقل الهواء أسفل القصبة الهوائية وإلى داخل الرئتين، عندها يبدأ دور الرئتين و هو ترشيح الأكسجين و إرساله عبر الدم إلى كل أجزاء الجسم. و عند الزفير ترسل الرئة ثاني أكسيد الكربون و الشوائب إلى الخارج عبر القصبات الهوائية (الجبور، 2012، ص 306)

يعمل كل من الجهاز التنفسي والجهاز القلبي الوعائي على توفير فعال للأكسجين نحو كافة أعضاء الجسم في نفس الوقت ، وهذا ما يسمح بإزالة أكسيد الكربون، تتمثل عملية النقل هذه في مجموعة من الآليات هي:

- التهوئة الرئوية والمتمثلة في حركة الهواء داخل وخارج الرئتين.
- الانتشار الحويصلي- الشعيري عن طريق تبادل الغازات بين الرئتين والدم.
- نقل الأكسجين وأكسيد الكربون عن طريق الدم.
- انتقال الغازات من الشعيرات الدموية إلى الأنسجة.

1- التهوية الرئوية (La ventilation pulmonaire):

تعتبر التهوية الرئوية عملية آلية التي يتم عن طريقها دخول وخروج الهواء من الرئتين ، يستنشق الهواء عن طريق الفم أو الأنف نحو الرئتين ، يسخن ويرطب الهواء أثناء دورانه في حفرة الأنف و هذا يؤدي إلى فقدان الهواء للغبار في المادة اللزجة الموجودة في حفرة الأنف حيث يحبس الهواء مرة واحدة بعد ذلك يدفع بسرعة وهذا ما يخفض من خطر التسمم والالتهاب، يقطع الهواء البلعوم والحنجرة ، الشعب والشعيبات بعد ذلك إلى الوحدات الأساسية للجهاز التنفسي (الحويصلات) أين تتم المبادلات الغازية (Wilmore et costil, 2006).

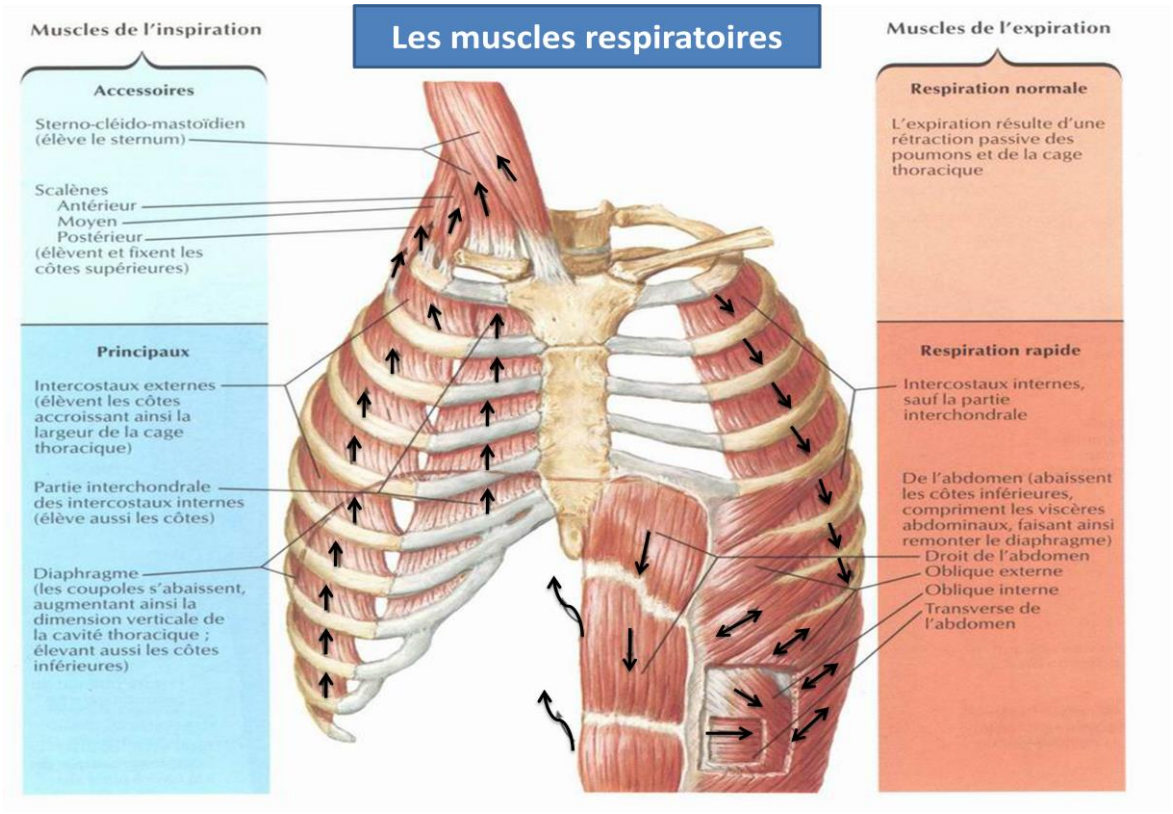


صورة رقم (01): المكونات التشريحية للجهاز التنفسي.

1-1الشهيق (L’inspiration):

يعتبر الشهيق ظاهرة إيجابية حيث تتدخل كل من عضلة الحجاب الحاجز و العضلات البين الضلعية الخارجية، ينتقل كل من عظم القص و الأضلاع عند محور العضلات البين الضلعية الخارجية ، ترفع الأضلاع نحو الخارج و عظم القص نحو الأمام و في نفس الوقت تتقلص عضلة الحجاب الحاجز و تنخفض نحو الأسفل دافعة محتوى التجويف البطني في نفس الاتجاه.

هذه الحركات ترفع من حجم القفص الصدري في كل الاتجاهات كل هذا من أجل زيادة الحجم الرئوي مما يؤدي إلى انخفاض ضغط الهواء داخل الرئتين، عند أداء التمرينات البدنية بشدة عالية ، تتم عملية التنفس بتدخل مجموعة من العضلات (muscle scalène, inférieur , moyen, et postérieur) ، (les sternocléidomastoïdiens) على مستوى الرقبة ، (muscle pectoraux) على مستوى الصدر، هذه التقلصات تسمح برفع مهم للأضلاع عند عملية التنفس (Wilmore et costil, 2006).

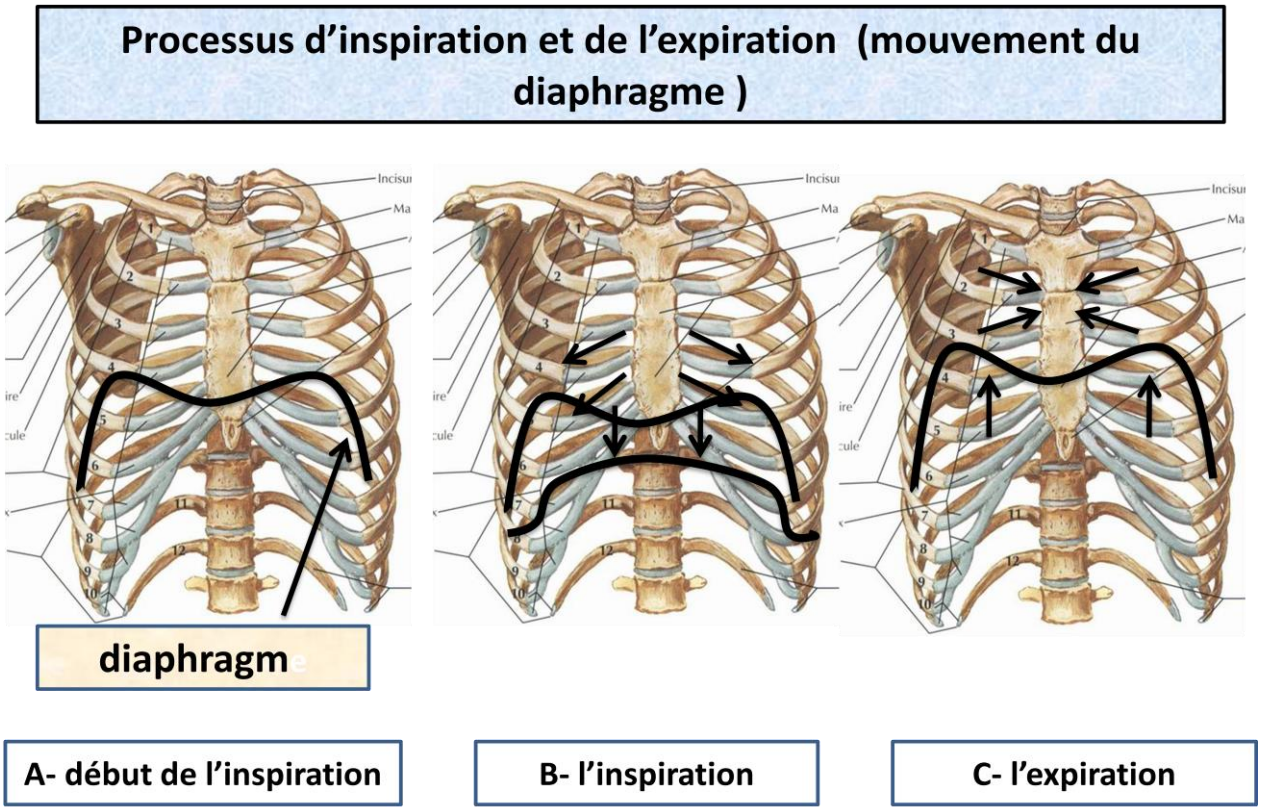


صورة رقم (02): مختلف العضلات التنفسية المتدخلة عند عملية الشهيق و الزفير .

2-1 الزفير (L'expiration):

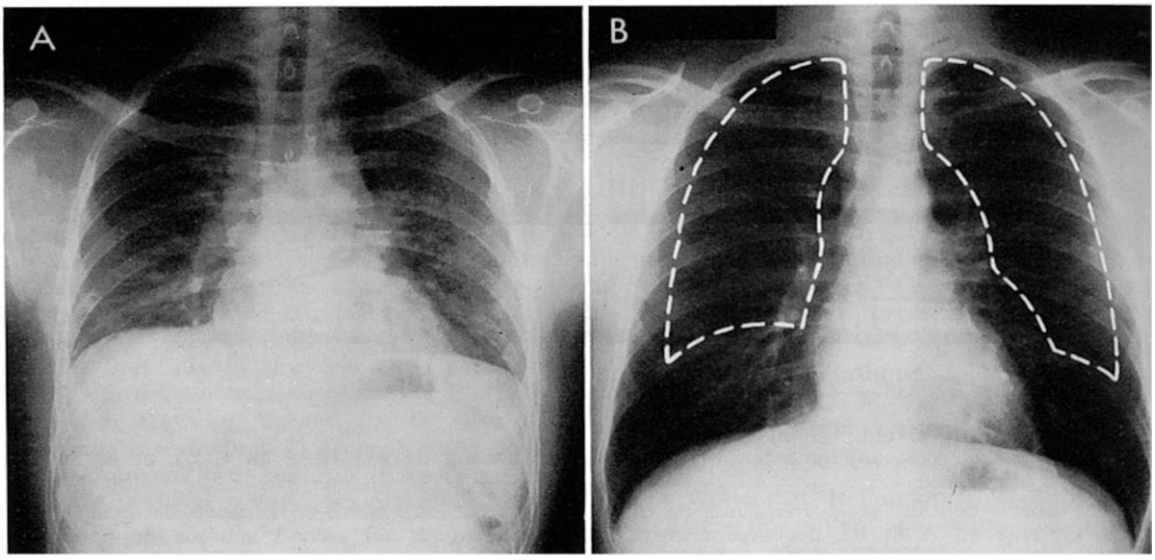
تنتج عملية الزفير من استرخاء عضلات الشهيق والرجوع المرن للنسيج الرئوي باسترخاء عضلة الحجاب الحاجز رجوعا إلى الوضعية العادية، كما تسترخي العضلات ما بين الأضلاع الخارجية جامعة كل من الأضلاع وعظم القص إلى الوضعية الأولية و بفضل الخاصية المرنة يرجع النسيج الرئوي إلى الوضعية الأولية مما يرفع من نسبة الضغط داخل الرئتين وفرض عملية الزفير.

تفرض وتنشط عملية الزفير من خلال العضلات ما بين الأضلاع الداخلية التي تتقلص من أجل إفراغ هواء الرئتين، مؤدية إلى انخفاض الأضلاع كما يمكن أن تتدخل كل من عضلات الظهر (les muscles grands dorsaux, et les carrées des lombes,)، خاصة تقلص عضلات البطن التي ترفع من نسبة الضغط داخل البطن مما يؤدي إلى دفع أحشاء البطن ضد عضلة الحجاب الحاجز لتسريع عملية صعوده. التغيرات في الضغط داخل منطقة البطن و القفص الصدري مع عملية التنفس تسرع عملية الرجوع الوريدي نحو القلب. (Wilmore et costil, 2006).



صورة رقم (03): آليات الشهيق و الزفير (حركة عضلة الحجاب الحاجز).

Mouvements respiratoires



Expiration forcée

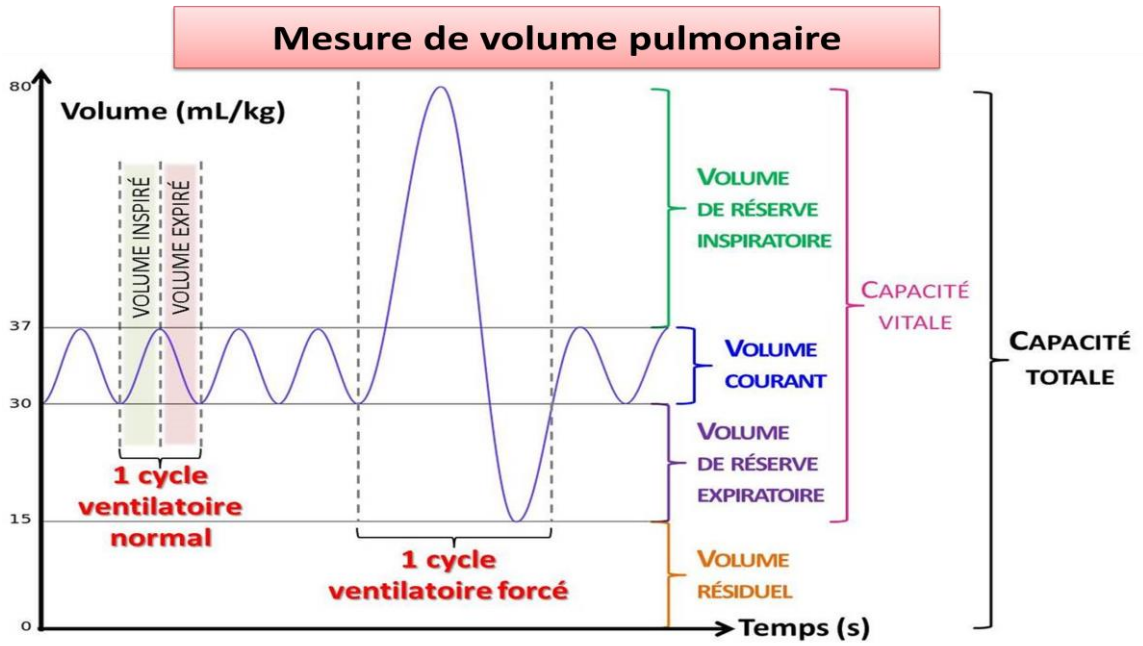
Inspiration forcée

صورة رقم (04): تغيرات حجم الرئتين عند كل من عملية الشهيق و الزفير.

حجم هواء الشهيق و هواء الزفير عند كل دورة تنفسية يسمى الحجم الدوري (volume courant, VC)، في الراحة الحجم الدوري يتفاوت بين 0,4 إلى 1 ل في كل دورة تنفسية. بعد تسجيل مجموعة من الدورات التنفسية العادية نطلب من شخص أن يقوم بعملية شهيق قصوى للهواء، هذه الزيادة في الهواء تصل إلى 2,5 إلى 3,5 لتر و هذا ما يسمى بالحجم الاحتياطي للشهيق (Volume de réserve inspiratoire, VRI)، بعد هذا القياس نطلب من الشخص بالعودة إلى الريتم الطبيعي للتنفس، وبعد زفير عادي نطلب من الشخص أن يقوم بأقصى زفير من الرئتين و هذا ما يسمى بالحجم الإحتياطي للزفير (Volume de réserve expiratoire, VRE). الذي يتفاوت بين 1 إلى 1,5 لتر لدى شخص يتمتع بطول عادي.

الكمية الكبيرة لهواء الزفير الإرادي بعد شهيق أقصى يطلق عليه القدرة الحيوية القسرية أو المفروضة (Capacité Vitale Forcé, CVF)، و هي مجموع الحجم الدوري و الحجم الاحتياطي عند الشهيق و الزفير. قيم القدرة الحيوية تختلف كثيرا حسب السمنة ووضعية الجسم أثناء القياس حيث أن القيم المتوسطة تتراوح بين 4 إلى 5 لتر لدى شباب الذكور و من 3 إلى 4 لدى الفتيات، كذلك تم تسجيل قيم عليا لدى أشخاص يتمتعون ببنية جسمية ضخمة وطويلة تصل من 6 إلى 7 لتر.تم قياس القدرة الحيوية لدى رياضي لكرة القدم الأمريكية و آخر في رياضة التزحلق بطل أولمبي بقيم وصلت من 7,6 إلى 8,1 لتر.

من المحتمل أن القدرة التنفسية (Capacité respiratoire) ترجع إلى عوامل وراثية ، نظرا لأن التدريب لا يمكن أن يغير بحد كبير في الحجم التنفسي. الحجم المتبقي (Volume résiduel, VR) يتمثل في حجم الهواء المتبقي بعد الزفير المفروض، أو الهواء الذي لا يمكن أخراجه بعد الزفير، يصل متوسطه من 0,8 إلى 1,2 لتر لدى الفتيات و من 0,9 إلى 1,4 لتر لدى الذكور ، كما تم تسجيل لدى لاعبين لكرة القدم الامريكية قيم تصل من 0,96 إلى 2,46 لتر يتمتعون بصحة جيدة.



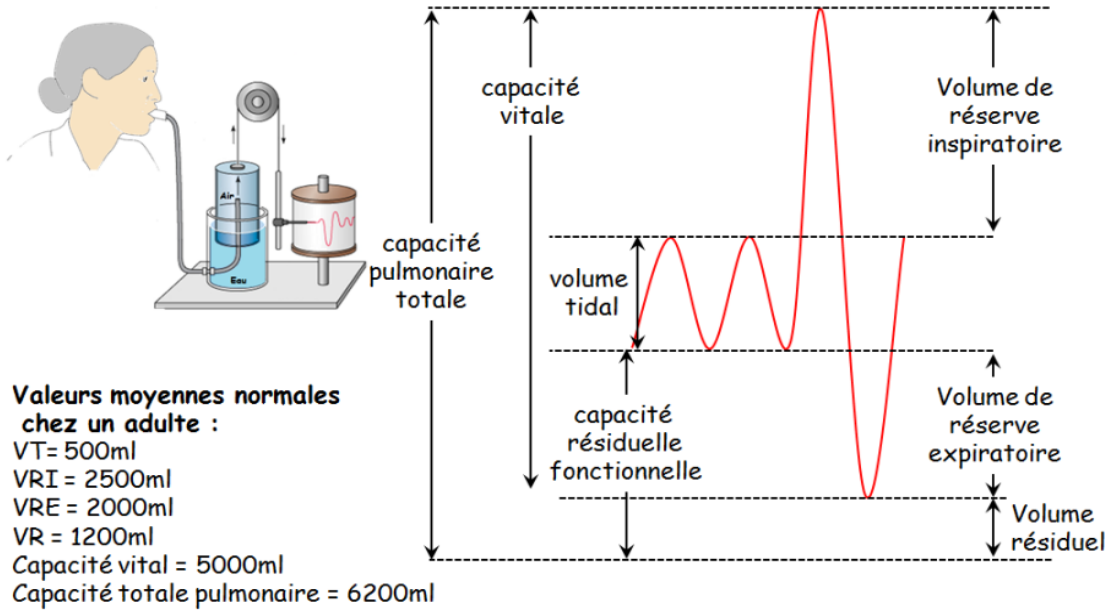
صورة رقم (05): قياس الأحجام الرئوية (حجم هواء الشهيق، حجم هواء الزفير، الحجم الاحتياطي للشهيق، الحجم الدوري، الحجم الاحتياطي للزفير، الحجم المتبقي، القدرة القسرية أو الحيوية، القدرة الرئوية الكلية).

يرتفع الحجم المتبقي مع التقدم في العمر بينما الحجم الاحتياطي عند الشهيق و الزفير ينخفض تدريجيا، فقدان الحجم الاحتياطي مع الزيادة الواضحة في الحجم المتبقي يرجع إلى انخفاض المرونة الرئوية مع التقدم في العمر. يلعب الحجم المتبقي دورا بيولوجيا مهما حيث أنه لا يتم إفراغ كلي لمحتوى الرئتين نظرا لأن المبادلات الغازية بين الدم و الحويصلات تستمر وهذا يحمي من الإضطرابات في غاز الدم أثناء الدورة التنفسية حتى عند التنفس العميق.

الحجم المتبقي (VR) إضافة إلى القدرة الحيوية (CVF) يشكل القدرة الرئوية (Capacité pulmonaire, CP)، حيث أنه لا نستطيع قياس الحجم المتبقي مباشرة عن طريق مقياس التنفس و لكن يتم ذلك بطرق غير مباشرة. حجم الهواء المتبقي في الرئتين بعد زفير عادي يشكل الحجم المتبقي الوظيفي (Capacité résiduel fonctionnelle, CRF)، و هو مجموع الحجم الاحتياطي للزفير + الحجم المتبقي .CRF= VR+VRE

الحجم الرئوي الكلي (Capacité pulmonaire totale , CPT) و هو مجموع جميع الأحجام الرئوية

.CPT= VR+VRE+VC+ VRI = (capacité vitale CV) + (Volume résiduel VR)



صورة رقم (06): الأحجام الرئوية المختلفة و متوسط القيم العادية للشخص البالغ.

2- الانتشار الحويصلي الشعيري (La diffusion alvéolo-capillaire):

نطلق على عملية الانتشار المبادلات الغازية بين الرئتين والدم مما يسمح بـ:

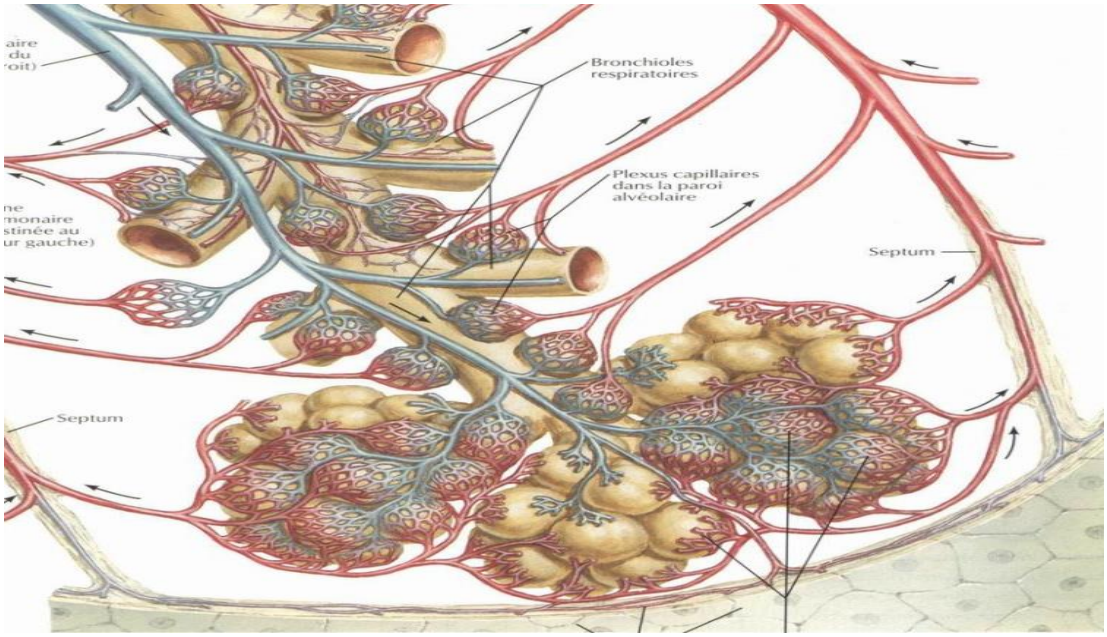
- تجديد محتوى الأكسجين في الدم الشرياني .
- إزالة غاز الكربون من الدم الوريدي.

تهدف عملية الانتشار بين الحويصلات والشعيرات الدموية الرئوية إلى أخذ الأكسجين من الحويصلات نحو الشعيرات والعكس من أجل أكسيد الكربون.

2-1 الحاجز أو الغشاء الحويصلي الشعيري (La barrière ou membrane alvéolo-capillaire):

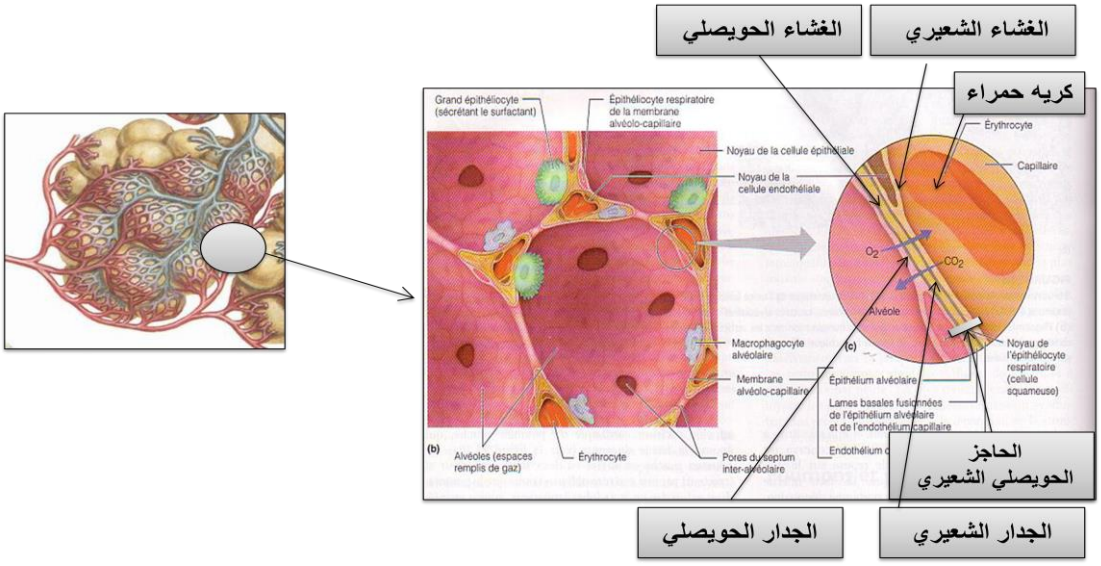
المبادلات الغازية بين هواء الحويصلات الرئوية و الدم يتم عن طريق الغشاء الحويصلي الشعيري الذي يتكون من :

- الجدار الحويصلي (La paroi alvéolaire).
- الأغشية القاعدية (Des membranes basales).
- الجدار الشعيري (La paroi capillaire).
- الغشاء الحويصلي الشعيري رقيق جدا ، يصل قياسه من 0,5 إلى 4 ميكرو متر ويغلف حوالي 300 مليون حويصلة .



صورة رقم (07): الشعيرات الرئوية المحيطة بالحويصلات الرئوية .

Schéma de la barrière ou membrane alvéolo-capillaire ou s'effectuent les échange gazeux en oxygène et dioxyde de carbone



صورة رقم (08): الحاجز الحويصلي- الشعيري أين تتم عملية المبادلات الغازية للأكسجين و ثاني أكسيد الكربون.

3- الضغوط الجزئية للغازات (Les pressions partielles de gaz):

يتكون الهواء الذي نتنفسه من ثلاث غازات، التي بدورها تطبق ضغط ، هذا التركيز في الهواء للغازات يسمى الضغط ، حسب قانون (dalton) فإن الضغط الكلي المختلط يساوي مجموع الضغوط الجزئية المطبقة من طرف كل الغازات التي تدخل في تركيبه.

إن الهواء المتنفس يتكون من 79,04% أزوت(N2)، 20,93 % أكسجين (O2)، 0,03 % أكسيد الكربون (CO2). على مستوى سطح البحر الضغط الجوي هو 760 مم زئبقي و الضغط المرجعي أو الضغط الثابت (المعياري)، نأخذ بعين الاعتبار أن هذا الضغط هو الضغط الكلي للهواء (100%)، و بالتالي فإن الضغط الجزئي للآزوت (PN2) هو 600,7 مم زئبقي (760 x %79,04 مم زئبقي)، و بالنسبة للأكسجين (PO2) هو 159 مم زئبقي (760 x%20,03 مم زئبقي) و بالنسبة لغاز أكسيد (PCO2)الكربون 0,3 مم زئبقي (760 x %0,03 مم زئبقي).

جدول رقم (01): الضغوط الجزئية للغازات التنفسية على مستوى سطح البحر.

Pressions partielle des gaz respiratoires au niveau de la mer

Pression partielle (mm Hg)					
gaz	% dans l'air sec	Air sec	Air alvéolaire	sang veineux	Gradient de diffusion
Total	100	760,0	760	760	0
H_2O	0,00	0,0	47	47	0
O_2	20,93	159,1	104	40	64
CO_2	0,03	0,2	40	45	5
N_2	79,04	600,7	569	573	0

1-3 المبادلات الغازية للأكسجين و أكسيد الكربون بين الحويصلات و الشعيرات الدموية (Les échanges alvéolo-capillaire en oxygène et en dioxyde de carbone):

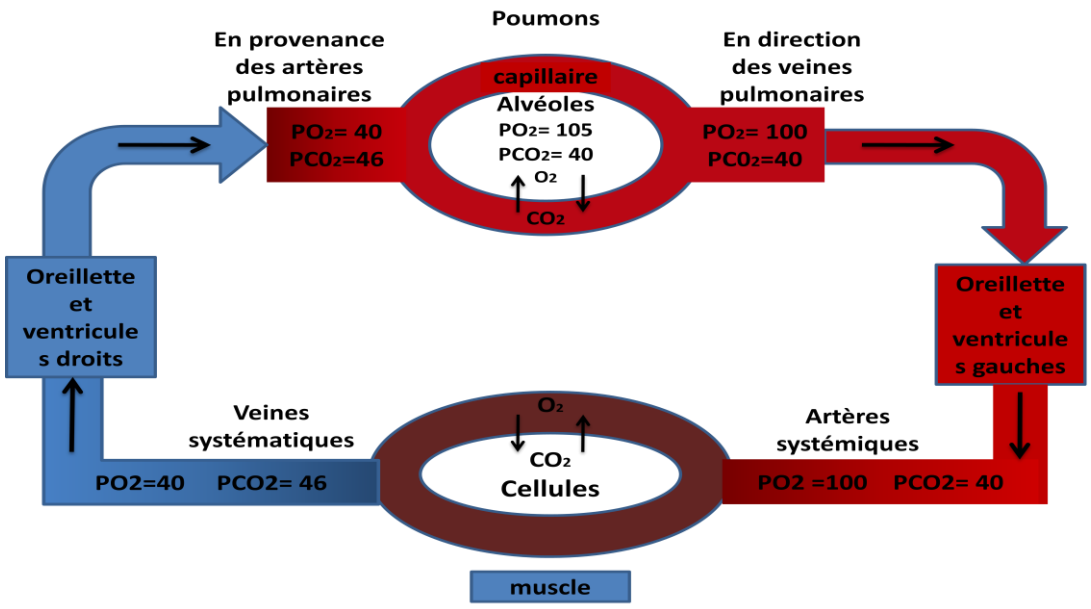
بالنسبة لكل غاز الفرق في الضغط الجزئي بين الحويصلات و الشعيرات يبدأ من التدرج في الضغط عن طريق الحاجز الحويصلي الشعيري، أي من الوسط الأكبر إلى الأقل، و عند تماثل الضغط الجزئي في الوسطين يحدث التوازن.

1-1-3 مبادلات الأكسجين (Les échanges d'oxygène):

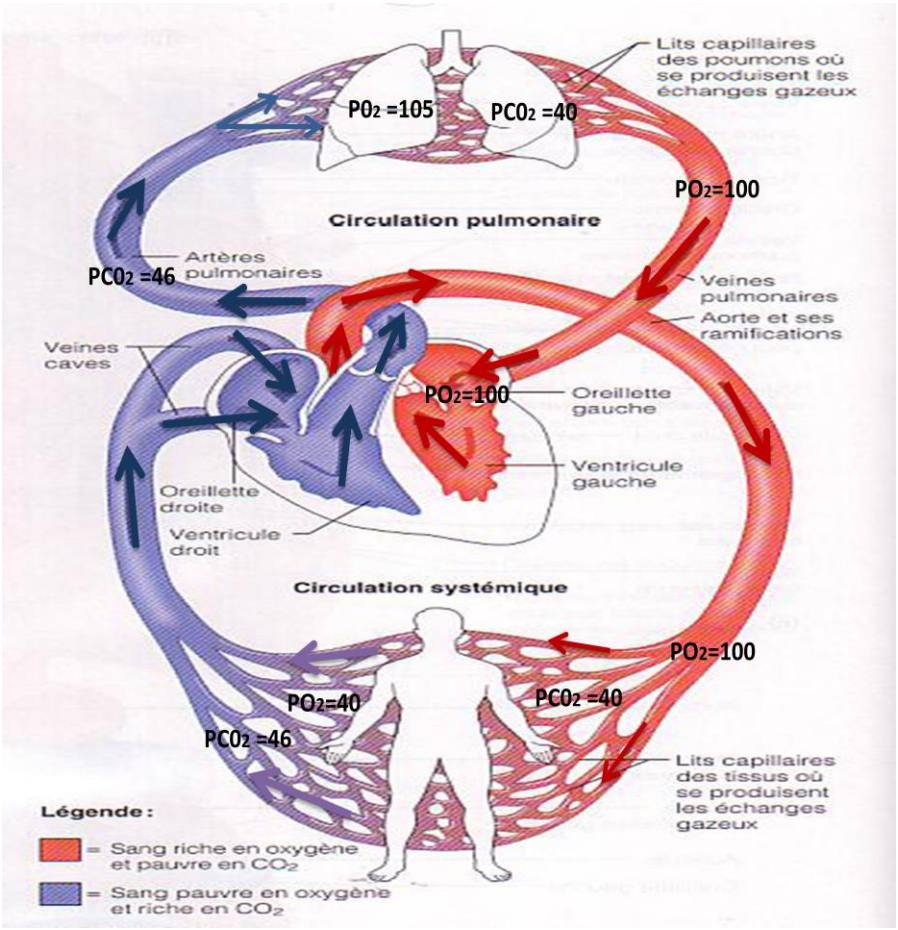
يساوي ضغط الأكسجين في الهواء 159 مم زئبقي و ينخفض من 105 إلى 100 مم زئبقي في الحويصلات أين يختلط الهواء المستنشق مع هواء الحويصلات الذي يحتوي على البخار وأكسيد الكربون، وبالتالي فإن التجديد المستمر للهواء في الحويصلات يضمن الاستقرار في تركيز الغازات في الحويصلات.

يفتقر الدم الراجع إلى الشعيرات الرئوية إلى الأكسجين ، في هذا المستوى الضغط الجزئي للأكسجين هو من 40 إلى 45 مم زئبقي . و في الحويصلات PO2 يبقى ثابت حوالي 105 مم زئبقي وبالتالي فإن الفرق الشرياني بين الحويصلات والشعيرات يصل من 55 إلى 65 مم زئبقي هذا الفرق يسمح بعملية الانتشار من الحويصلات نحو الشعيرات ، وتستمر عملية الانتشار وصولا إلى حالة التوازن في الضغط الجزئي بين الوسطين، هذا التوازن يؤدي إلى خروج الدم المشبع بالأكسجين نحو الدورة الدموية مع العلم أن الضغط الجزئي للأكسجين في الأوردة الرئوية هو 100 مم زئبقي ولا يكون 105 مم ز مثل ما هو في الحويصلات والشعيرات الرئوية.

سرعة انتشار الأكسجين من الحويصلات نحو الشعيرات تدعى بقدرة انتشار الأكسجين و هي كمية أو حجم الأكسجين المنتشر (مل) عن طريق الحاجز الحويصلي الشعيري في الدقيقة ، في الراحة كل 1 مم زئبقي ينتشر 21 مل من الأكسجين نحو الدورة الدموية خلال 1 دقيقة . وعند أداء التمرينات البدنية قدرة انتشار الأكسجين يمكن أن تزداد حتى 50 مل\دا\مم زئبقي ، 2 حتى 3 مرات بقيمة الراحة



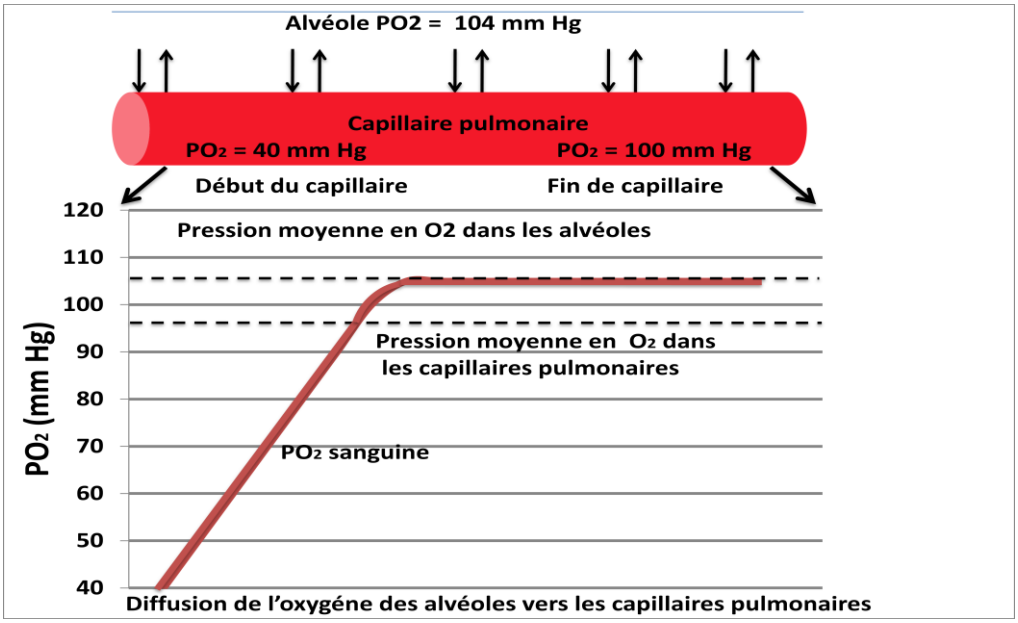
صورة رقم (09): المبادلات الغازية لكل من غاز الأكسجين (O_2) و غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وفقا للضغوط الجزئية للغازات.



صورة رقم (10): عملية المبادلات الغازية بين الحويصلات و الشعيرات الرئوية (الدورة الدموية الصغرى)، وصول الدم المشبع إلى القلب ليتم ضخه نحو جميع أنسجة الجسم (الدورة الدموية الكبرى)، الضغوط الجزئية لكل من غاز الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون موضحة في كل المراحل .

2-1-3 مبادلات أكسيد الكربون (Les échanges en dioxyde de carbone):

مثل الأكسجين المبادلات الخاصة بأكسيد الكربون تكون عن طريق تدرج في الضغط ، الدم المتبادل في الحويصلات يتمتع بضغط جزئي PCO2 أولي 46 مم زئبقي ، و في الحويصلات يساوي الضغط الجزئي لأكسيد الكربون 40 مم زئبقي ، هذا التدرج في الضغط بين الشعيرات و الحويصلات يعتبر صغير لكنه كافي من أجل إحداث عملية الانتشار و بـ20 مرة أكثر أهمية من الأكسجين، بحيث يتمتع أكسيد الكربون بسرعة انتشار عن طريق الحاجز الحويصلي الشعيري .



صورة رقم (11): انتشار أكسجين الحويصلات نحو الشعيرات الرئوية .

3-1-3 نقل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون (Le transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone):

سوف نتحدث في هذا العنصر عن التهوئة الرئوية وكيفية المبادلات الغازية أثناء عملية الانتشار الحويصلي الشعيري رابطين ذلك بنقل الغازات من طرف الدم والمبادلات مع الأنسجة.

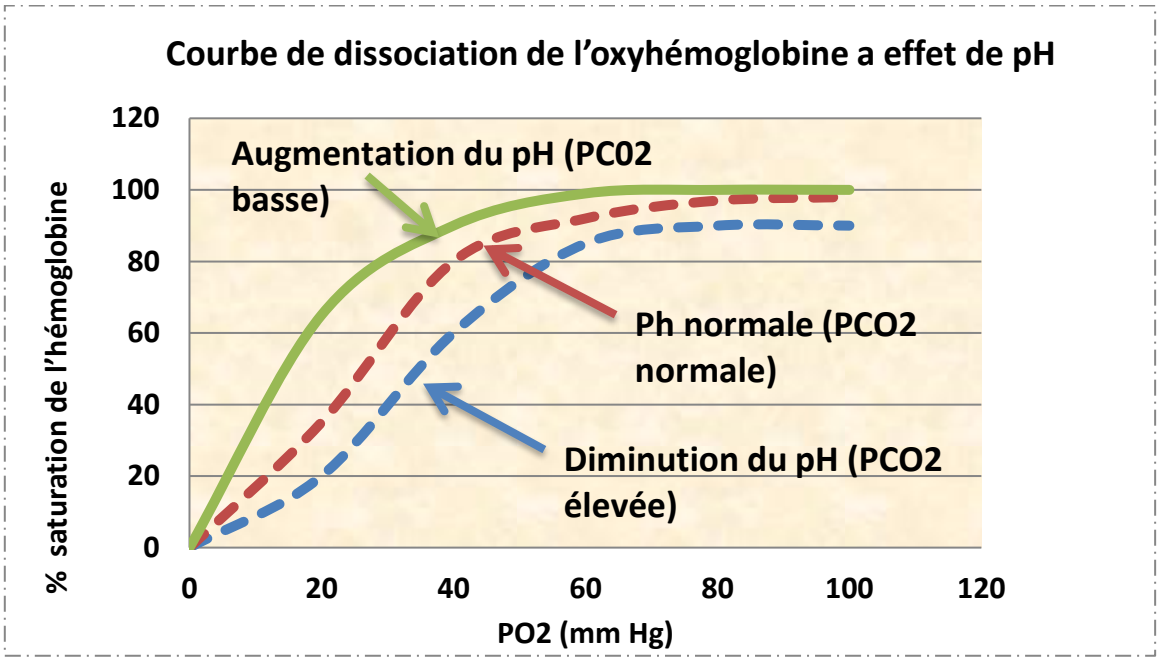
❖ **نقل الأكسجين :**

ينقل الأكسجين في الدم بطريقتين : أولا بطريقة مرتبطة أي مركب مع هيموغلوبين (Hb) الكريات الحمراء 98% أو منحل في بلازما الدم 2%> ، حيث أن كل 1 ل من البلازما يحتوي على 3 مل من الأكسجين وبالتالي فإن الحجم الكلي للدم (5ل) يحتوي من 9 إلى 15 مل من الأكسجين في شكل منحل، هذه الكمية لا تكفي للجسم في حالة الراحة 250 مل من الأكسجين المتطلبة في الدقيقة ، و هذه القيمة تعكس أن أكثر من 70 مرة ينقل الأكسجين عن طريق الهيموغلوبين .

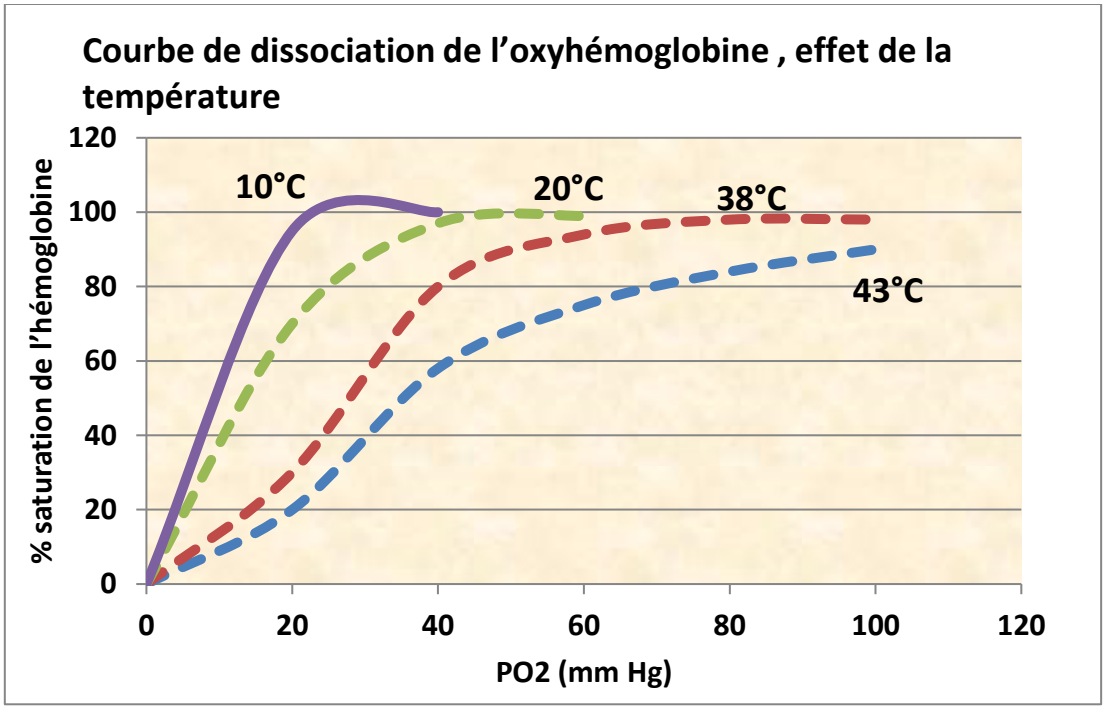
❖ **تشبع الهيموغلوبين (La saturation de l'hémoglobine):**

كل جزيئه من الهيموغلوبين يمكن أن تنقل 4 جزيئات من الأكسجين هذا الاتحاد بين المركبين يشكل لنا معقد يسمى أوكسي هيموغلوبين أما الأكسجين المحرر يسمى دي أوكسي هيموغلوبين، ترتبط نسبة تثبيت الأكسجين بنسبة الضغط الجزئي للأكسجين في الدم وتلاؤم وتجانس الأكسجين مع الهيموغلوبين، وهناك عوامل أخرى يمكن أن تؤثر على تشبع الهيموغلوبين حيث أن ارتفاع نسبة pH في الرئتين يحفز على تثبيت الأكسجين في الهيموغلوبين والعكس على مستوى الأنسجة نسبة PH تكون منخفضة مما يسهل تفكك الاكسي هيموغلوبين، ويحدث هذا عند أداء التمرينات البدنية، قدرة توفير الأكسجين في العضلات ترتفع بانخفاض في الـ PH .

كما يؤدي ارتفاع درجة حرارة الدم إلى زيادة تفكيك الاوكسي هيموغلوبين على مستوى الأنسجة وهذا ما يحدث عند أداء التمرينات البدنية في العضلات النشطة ، والعكس على مستوى الرئتين عملية استنشاق الهواء تعمل على تبريد دم الرئتين هذا ما يرفع من نسبة تثبيت الأكسجين في الهيموغلوبين.



صورة رقم (12): منحنى انحلال أو تفكك مركب الأوكسي هيموغلوبين تحت تأثير درجة الأس الهيدروجيني (PH).



صورة رقم (13): منحنى تفكك أو انحلال الأوكسي هيموغلوبين، تأثير درجة الحرارة .

4-1-3 نقل ثاني أكسيد الكربون (Le transport du dioxyde de carbone):

ينقل أكسيد الكربون في الدم وهذا بالطرق التالية :

أ- انحلال أكسيد الكربون: 7 إلى 10 % من أكسيد الكربون المحرر من طرف الأنسجة ينحل في بلازما الدم ، و على مستوى الرئتين ينتشر أكسيد الكربون من الشعيرات نحو الرئتين .

ب- ايونات البيكربونات : في الدم أكبر نسبة من أكسيد الكربون (60 إلى 70%) تحول في شكل أيونات البيكربونات، في هذا الوسط فإن أكسيد الكربون والماء يتحدان من أجل تشكيل حمض الكربونيك ($H2CO_3$) هذا الحمض لا يستقر وينحل بسرعة محررا أيونات الهيدروجين H^+ و أيونات البيكربونات (HCO_3^-) .

$$CO_{2+}H_2O \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$$

أثناء وصول الدم إلى الرئتين فإن الضغط الجزئي لأكسيد الكربون ينخفض وبالتالي فإن أيوناتH^+ و أيونات البيكربونات ترتبط من جديد مشكلة حمض الكربونيك الذي بدوره ينحل إلى أكسيد الكربون والماء .

$$H^+ + HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_20$$

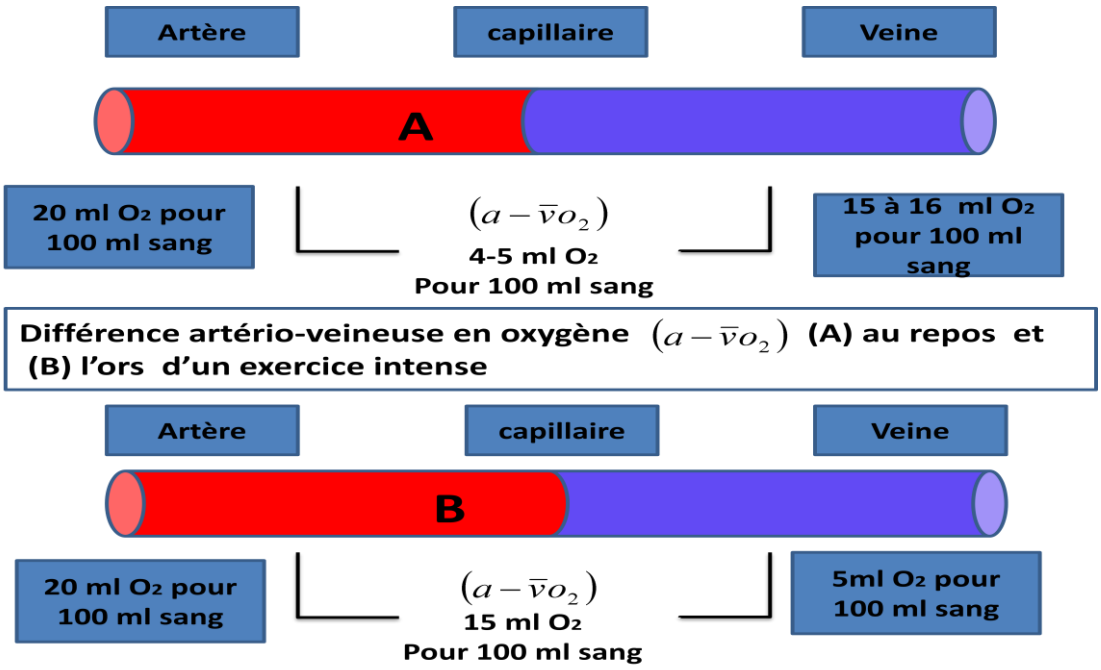
ج- كربامينوهيموغلوبين : إن نقل أكسيد الكربون يكون أيضا عن طريق ارتباط الغاز مع الهيموغلوبين هذا المعقد المتشكل يسمى كربامينوهيموغلوبين (carbaminohémoglobine) حيث لا توجد منافسة بين بين O_2 و CO_2 من أجل التثبيت في الهيموغلوبين و بالتالي فإن تثبيت أكسيد الكربون يرتبط بنسبة الأكسجين الموجود في الهيموغلوبين .

يرتبط دي أوكسي هيموغلوبين بسهولة مع أكسيد الكربون على عكس ذلك مع الاكسي هيموغلوبين، كما ينفصل أكسيد الكربون من الهيموغلوبين إذا كان PCO2 منخفض ، وكذلك على مستوى الرئتين إذا كان PCO2 منخفض يحرر أكسيد الكربون بسرعة من الهيموغلوبين مما يسمح بمروره نحو الحويصلات لطرحه خارجا .

4-المبادلات الغازية العضلية (Les échanges gazeux musculaires):

4-1 الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين (La différence artério-veineuse en oxygène):

في الراحة ، محتوى الأكسجين في الدم الشرياني حوالي 20 مل في كل 100 مل ، هذه القيمة تنخفض من 15 إلى 16 مل في كل 100 مل في جهة الشعيرات الوريدية هذا الفرق بين الجهتين يسمى الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين $(a-\bar{v}o_2)$ و الذي يمثل من 4 إلى 5 مل نسبة الأكسجين المنزوع من طرف الأنسجة حيث تختلف هذه النسبة كلما زادت شدة الجهد البدني لتصل من 15 إلى 16 مل في كل 100 مل من الدم ، ومن جهة أخرى قد يصل الفرق الشرياني الوريدي في العضلات من 17 إلى 18 مل.



صورة رقم (14): الفرق الشرياني-الوريدي لغاز الأكسجين $(a-\bar{v}o_2)$ في الراحة (A) و عند التمرينات الشاقة (B).

2-4 العوامل المؤثرة على تزويد واستهلاك الأكسجين (facteurs influençant la fourniture et la consommation d'oxygène):

إن تزويد واستهلاك الأكسجين يتعلق أساسا بثلاث عوامل هي:

- ❖ محتوى الدم من الأكسجين .
- ❖ تدفق الدم.
- ❖ عوامل وشروط محلية.

في بداية التمرين كل هذه العوامل الثلاثة يجب أن تستجيب لزيادة متطلبات العضلات من الأكسجين ، في هذه الحالة نستطيع القول أن الهيموغلوبين في حالة تشبع تصل إلى 98 % من الأكسجين، كل نقص في قدرات النقل هذه تؤدي إلى اختلال في توزيع واستهلاك الأكسجين على مستوى الخلايا ، من جهة أخرى تعمل التمرينات على زيادة تدفق الدم العضلي أي أكثر نزع للأكسجين من طرف العضلات النشطة، و هناك عوامل أخرى عضلية يمكن أن تتدخل مثل التقلص العضلي ، زيادة درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون، انخفاض درجة الحموضة. كل هذه العوامل تسهل انحلال الاوكسي هيموغلوبين .

3-4 نزع ثاني أكسيد الكربون (L'élimination du dioxyde de carbone):

إن تحفيز العمليات الايضية الهوائية العضلية ينتج عنها إنتاج وطرح أكسيد الكربون و هذا ما يرفع من نسبة الضغط الجزئي للأكسيد الكربون محليا، يؤدي التدرج في الضغط الجزئي بين الأنسجة و الشعيرات إلى انتشار أكسيد الكربون نحو الدم الذي ينقل هذا الغاز إلى غاية الرئتين.

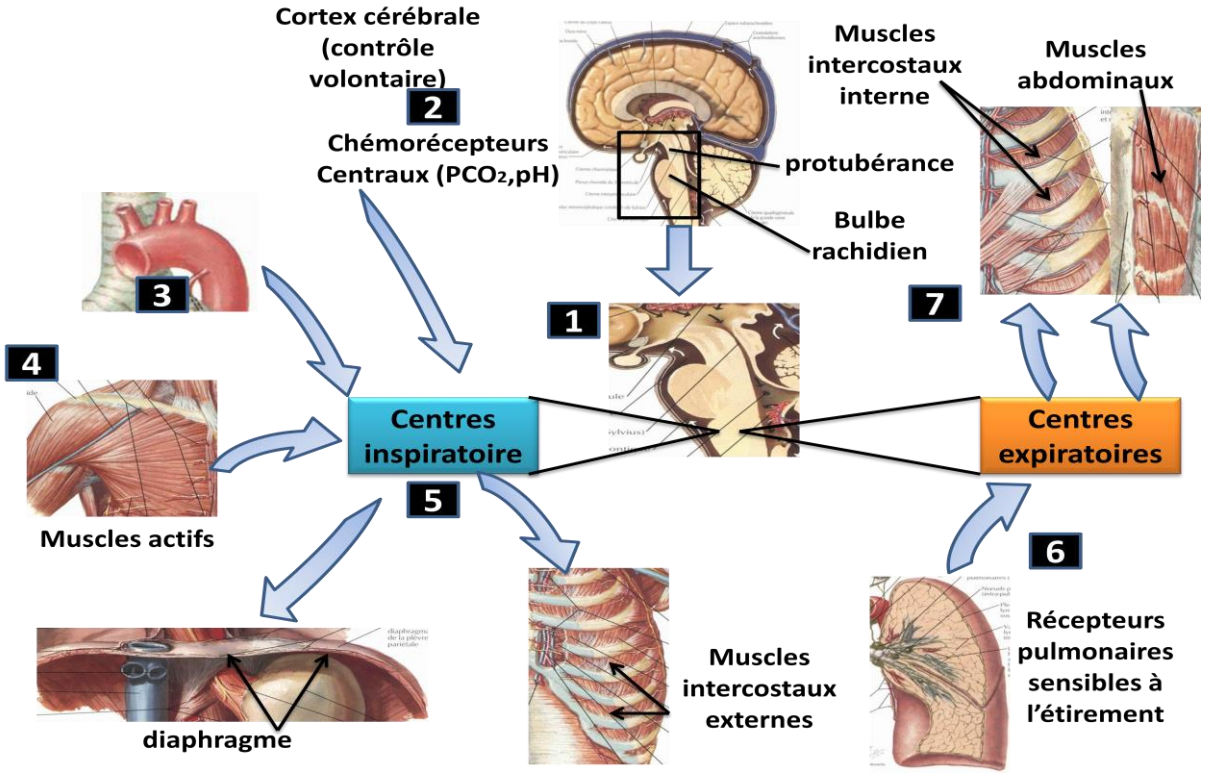
5- تنظيم عملية التهوئة (La régulation de la ventilation):

5-1 آليات التنظيم (Mécanisme de régulation):

تنشط العضلات التنفسية من الأعصاب الحركية والتي بدورها خاضعة لمراقبة المركز التنفسي (الشهيق والزفير) الموجود في البصلة السيسائية هذا المركز يعمل على تنظيم وتيرة وحجم عملية التنفس وهذا ببعث رسائل عصبية إلى العضلات التنفسية . و لا تراقب عملية التنفس عن طريق الجهاز العصبي فقط بل هي خاضعة أيضا للتغيرات الكيميائية داخل الجسم ، إن الاختلاف في تركيز أكسيد الكربون وأيونات الهيدروجين يكتشف عن طريق مستقبلات كيميائية مركزية التي تعلم مركز الشهيق كيف يحدث هذا ؟

في الدم، يعمل أكسيد الكربون على تكوين حمض الكربونيك الذي بدوره ينحل إلى أيونات الهيدروجين، تراكم أيونات الهيدروجين يؤدي إلى انخفاض في درجة pH في الدم وفي سائل الرأسية السيسائية (liquide céphalo-rachidien) ، كما تتصل المستقبلات الكيميائية المركزية بسائل الراسية السيسائية و بالتالي مركز الشهيق الذي بدوره يحفز من أجل عملية التنفس من أجل إزالة أكسيد الكربون وتعديل درجة الحموضة PH، في هذه الحالة يجب أن نأخذ بعين الاعتبار لحركة المستقبلات الكيميائية المحيطية الموجودة في القوس الأورطي الحساسة للضغط الجزئي للأكسجين وأكسيد الكربون ودرجة الحموضة ، في هذه المستقبلات يوجد ألياف حسية تنقل المعلومات إلى مركز الشهيق التي تحفز في حالة انخفاضPO2 et pH، وزيادة PCO2.

و هناك عوامل ميكانيكية يمكن أن تتدخل في المراقبة العصبية للتنفس، الغشاء الرئوي (plèvre)، الشعيبات (bronchioles)، الحويصلات الرئوية ، والتي تحتوي على مستقبلات حسية للتمدد، التي تتمدد بزيادة الحجم الرئوي بحيث تبعث برسال تثبيطية عن طريق العصب الحائر (المعدي الرئوي nerf vague) إلى مركز الشهيق الذي يثبط. حيث تحدث عملية الزفير لإفراغ محتوى الرئتين هذه الآلية تسمى بـ رد فعل (d'héring-breuer).

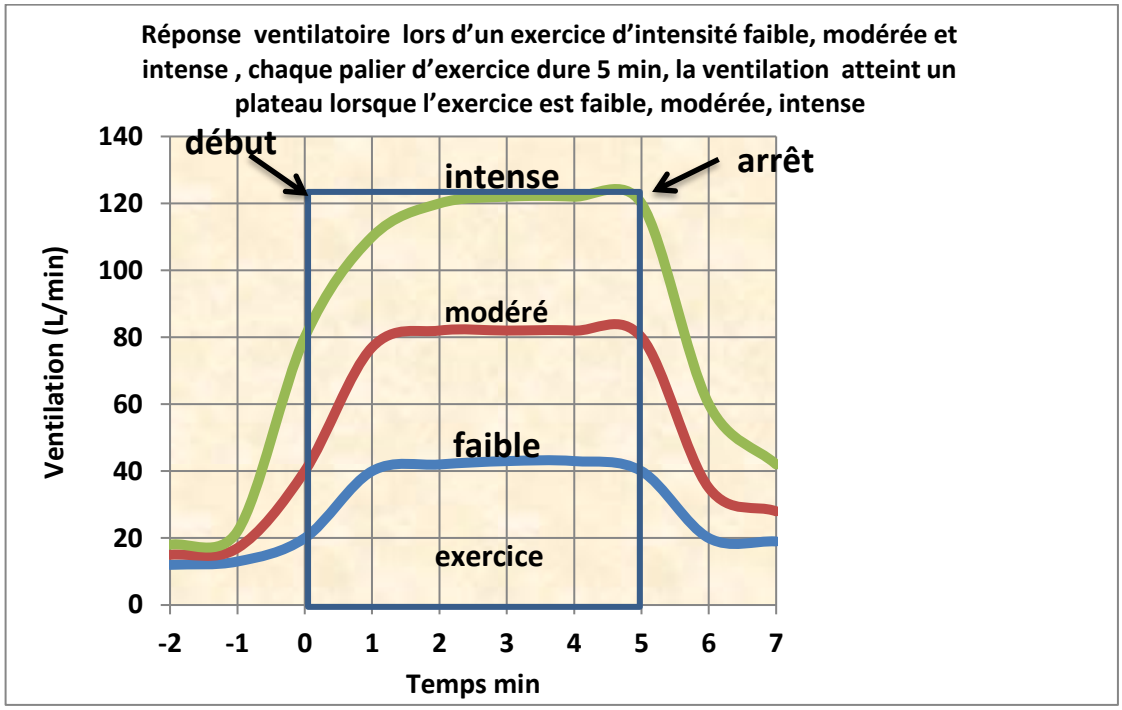


صورة رقم (15): مختلف الآليات التنظيمية لعملية التهوية الرئوية . 1) مركز الشهيق و الزفير (البصلة السيسائية). 2) المستقبلات الكيميائية المركزية. 3) المستقبلات الكيميائية المحيطية. 4) العضلات النشطة. 5) مركز الشهيق (التحكم في عضلة الحجاب الحاجز، العضلات ما بين ضلعية الخارجية) . 6) المستقبلات الرئوية الحساسة للتمدد. 7) مركز الزفير (تقلص عضلات البطن) .

2-5 التهوية في التمرينات البدنية (La ventilation à l'exercice):

إن الزيادة في عملية التهوية الرئوية في بداية التمرين تتم بمرحلتين : أولا زيادة مباشرة تتبعها زيادة أكثر تصاعدا وتدرجا، هذا النوع من التكيف راجع إلى الزيادة الأولية للتهوية وإلى الحركات في نفس الوقت، عند بداية التمرين وقبل كل التغيرات الكيميائية ،نشاط القشرة المخية (الحركية) يرفع وينبه مركز التنفس بالاستجابة لزيادة عملية التهوية، بالإضافة إلى المعلومات الحسية التي تصل إلى العضلات والمفاصل لتنفيذ الاستجابة التنفسية .

أما المرحلة الثانية الأكثر تدرجا وهي نتائج النشاط الاستقلابي الايضي الحاصل من أداء التمرينات البدنية، وذلك يظهر في زيادة درجة الحرارة والتحولات الكيميائية في الدم، (PO2) ينخفض في العضلات مما يرفع الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين وهذا ما ينبه المستقبلات الكيميائية لتحفيز مركز التنفس الذي يستجيب بزيادة مستوى وحدة التنفس، بعض الدراسات تشير إلى وجود مستقبلات كيميائية عضلية ، وهذا ما يجعلنا نفرض وجود مستقبلات في البطين الأيمن الذي بدوره يعلم مركز التنفس، زيادة حجم الضربة يعمل كذلك على زيادة عملية التهوية عند كل بداية للتمرينات.



صورة رقم (16): استجابة التهوية الرئوية أثناء تمرين بشدة ضعيفة، متوسطة، عالية، كل مرحلة من التمرين تستمر لمدة 5 دقائق، التهوية وصلت إلى أقصى مستوى عندما يكون التمرين بشدة ضعيفة، متوسطة، عالية.

6- المشاكل التنفسية في التمرينات البدنية (Problèmes respiratoires à l'exercice):

6-1عسر التنفس(La dyspnée) :

إن الإحساس بعسر التنفس (تنفس ضيق) في التمرين البدني يعتبر عادي بالنسبة للشخص الذي له إمكانيات بدنية صغيرة ، و بذلك فإن تركيز أكسيد الكربون و ايونات H^+ يرتفع بسرعة في الدم الشرياني عند أداء الجهد البدني، هذا الارتفاع يمثل إشارة هامة إلى مركز التنفس الذي بدوره يستجيب بزيادة حدة التهوئة.

إن عسر التنفس الناتج من أداء الجهد البدني يمثل عدم القدرة على التنفس و هذا راجع إلى عدم القدرة على تنظيم درجة الحموضة pH، و PCO2 حتى مع التنبيه الهام العصبي لعملية التهوية، كما يؤدي ذلك إلى تعب سريع للعضلات التنفسية للشهيق التي تصبح غير قادرة على المحافظة على الاتزان الداخلي.

6-2 فرط التهوية (L'hyperventilation):

تمكن التهوية من توفير احتياجات الأكسجين، في حالة القلق التي ترتبط عادة بالتمرينات أو في بعض الحالات المرضية يمكن أن نتحدث عن إفراط التهوية . في الراحة يؤدي إفراط التهوية إلى نقص في PCO2 الشرياني والحويصلي بحوالي 15 مم زئبقي أي نقصان في تركيز أكسيد الكربون وأيونات H^+، وبالتالي زيادة في حموضة الدم pH هذه التنبيهات تعتبر ضد توازن التهوية .

المحور الرابع: الآليات الطاقوية
Les filières énergétiques

1-المبادئ و الآليات الطاقوية في النشاط البدني و الرياضي :

ترتفع الاحتياجات الميتابوليزمية في العضلة كلما أرتفع المجهود العضلي و هذا المصدر الطاقوي خاضع لتكيفات عضلية دورية قلبية و تنفسية و عصبية، فالجهاز العصبي يسير هذا النظام، حيث يرسل إشارات كهربائية من خلال الألياف الحركية مما يؤدي إلى طرح الأستيل كولين المخزن في الألياف العصبية في مناطق الترابط العصبي العضلي و هذا ما يسمح لبدأ نظام خلوي مستقل للعضلة يعطي طاقة للتقلص العضلي و هذه الطاقة منبعها النظام الصادر من (Seddiki D,1994, P 12):

- مخزون عضوي يستعمل مباشرة مع وجود الأكسجين أو في انعدامه .
- من الاحتراق البطيء للغلو سيدات، ليبيدات و البروتيدات المخزونة في العضلة أو المتنقلة في الدم.

كما توجد 03 أنظمة رئيسية تعتبر كمنبع طاقوي للـ ATP الضروري للتقلص العضلي:

- نظام لا هوائي دون حمض اللبن.
- نظام لا هوائي حمضي.
- نظام هوائي .
- يتميز جهاز الرياضي بتطور ملحوظ في إمكانية تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة حركية.

و لتطوير مستوى التفوق الرياضي يجب تطوير الصفات التالية:

- تطوير القدرة الطاقوية.
  - ✓ رفع الشدة الطاقوية.
  - ✓ تحسين المردود الطاقوي.

1-1 الآلية الطاقوية اللاهوائية:

أوضح Jousselin et al (1990)"عند عملية التقلص العضلي العنيف و السريع، يعتبر مخزون الأكسجين و سرعة التكون غير كافيين لذا يجب على الليف العضلي أن يجد مصادر اخرى للتموين بـ (ATP) بسرعة و بكمية كبيرة و للعضلة منبعين لسد النقص في النظام اللاهوائي" (Joussellin E et Legros L 1990, P 12).

- ❖ المنبع الأول: من خلال الكرياتين فوسفات الذي يسمح بتركيب (ATP) في غياب الأكسجين (O_2) و يسمى الميكانيزم اللاهوائي دون حمض اللبن.
- ❖ المنبع الثاني: من خلال الغليكوجين أو الميكانيزم اللاهوائي مع تكون حمض اللبن.

1-1-1 الآلية الطاقوية اللاهوائية اللالبنية (النظام الفوسفاتي):

وهي مجموع التفاعلات التي تضمن إنتاج طاقة (ATP) في غياب الأكسجين (لاهوائي) و بدون إنتاج نهائي لحمض اللبن، حيث تتدخل هذه الشعبة في بداية التمرين باستخدام الكميات القليلة المتواجدة في العضلة أو

عن طريق الفوسفوكرياتين الذي ينتج طاقة بسرعة و هذا في وجود أنزيم الفوسفوكرياتين كيناز (CPK) عبر التفاعل التالي (Thill E et al, 1999, P 83):

$$ADP + CP \overset{CPK}{\longleftrightarrow} ATP + créatine$$

كما أن إنتاج الطاقة (ATP) يمكن أن ينجز عن طريق تمييع جريئتين من ADP مع تشكيل جزيئة AMP في و جد أنزيم الميوكيناز (MK).

$$2ADP \overset{MK}{\longrightarrow} ATP + AMP$$

يتواجد مخزون (ATP) في الخلية العضلية حيث تتراوح نسبته إلى 6 ملي مول/كغ أما مخزون الفوسفو كرياتين يتراوح من 20-30 ملي مول/كغ من وزن العضلة، كما أشار (Bouchard et Coll, 1989) " إلى أن القدرات القصوى للمصادر الطاقوية المستعملة من طرف شخص عادي تقدر بطاقة استهلاك قدرها 45 كيلوجول مع قوة قصوى مقدرة بـ 300كيلوجول/د" ، كما أن المدة القصوى التي يستخدم فيها النظام الفوسفاتي لإنتاج الطاقة تكون من 6-8 ثا". (Weineck J, 1997, P 66).

كما يندرج ضمن هذا النظام قسمين و هما:

أ- القدرة القصوى اللاهوائية اللالبنية:

و هي بداية الطاقة الآلية، كمية العمل المرتبط بوحدة زمنية. أو الكمية القصوى للطاقة و التي ترتفع أثناء التمرين المرافق للوحدة الزمنية التي تتراوح من 0-10 ثا، ومن خلالها يتم تحليل جزيئات (ATP) الموجودة في الليف العضلي مع تحرير طاقة (Turpine B, 1996, P 15)

ب- السعة القصوى اللاهوائية اللالبنية:

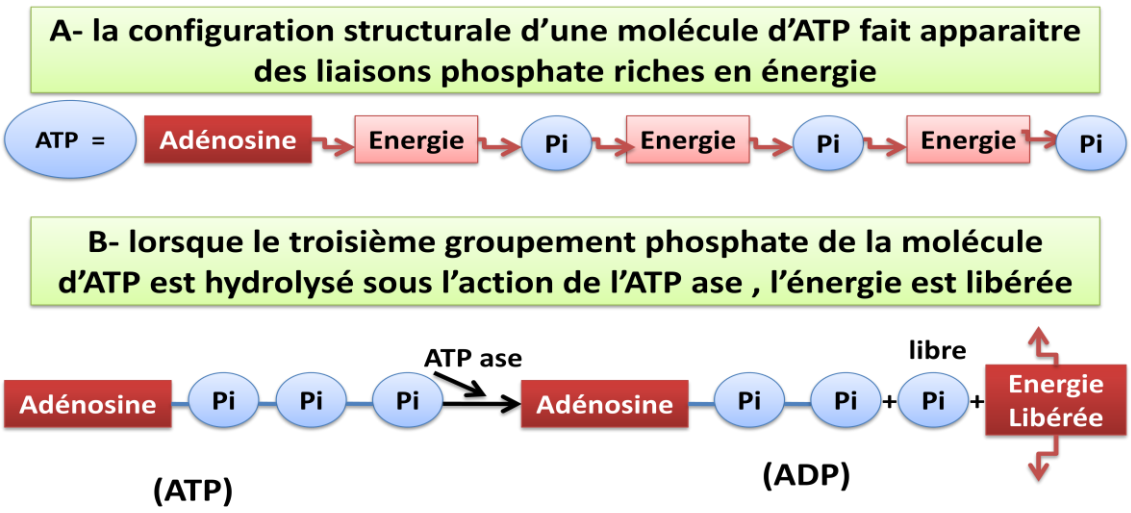
و هي كمية الطاقة الكلية لنشاط ممدد نوعا من حيث المدة، يعطي طاقة تسمى القدرة الطاقوية لهذا النظام، تعطى بالمجال الزمني التالي: 2-10ثا حيث يتم استهلاك (ATP) و الكرياتين فوسفات (CP) و هذا ما يتضح من خلال التشريح العضلي في المخابر. القدرة الكلية للعمل الممكن تقديمها في هذا النظام تقدر بـ: 800جول/كلغ أي ما يعادل 56000 جول من أجل رياضي ذا وزن 70 كلغ (Harichaux P et, Medelli H ., 1992 , 65)

ج- خصائص الآلية الطاقوية اللاهوائية اللالبنية :

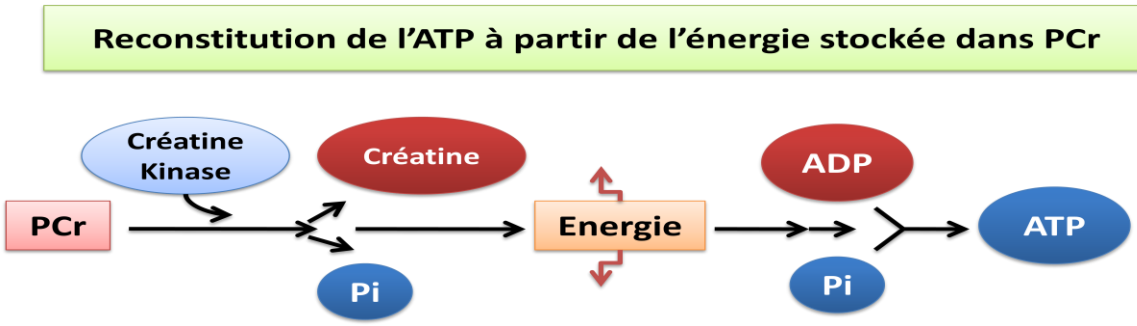
تتميز خصائص الآلية اللاهوائية اللالبنية حسب (Brunet E et al, 2000, P7) بالعناصر التالية:

- ✓ دخول سريع جدا من الثواني الأولى.
- ✓ مدة الآلية محددة و قصيرة.
- ✓ تطوير القدرة 0 /5-7 ثا.
- ✓ تطوير السعة 5-7ثا/15-20ثا.
- ✓ شدة الجهد عالية جدا (قصوى) تميز خاصية السرعة.

- ✓ الاسترجاع: تكون مدة الراحة قصيرة ونشطة بين التمرينات من 10إلى 20ثا، مع راحة بين المجموعات على الأقل 5د.
- ✓ حجم الحصة التدريبية يتطلب تدريبا نوعيا ذا شدة قصوى.



صورة رقم (01): تدخل أنزيم (ATP ase) في عملية إماهة جزيئة الـATP.



صورة رقم (02): إعادة تصنيع الـATP عن طريق الطاقة المخزنة في الفوسفة كرياتين (PCr).

2-1-1 الآلية الطاقوية اللاهوائية اللبنية (نظام الجلكزة):

يعتبر هذا النظام عبارة عن سلسلة من التفاعلات التي تسمح بإنتاج طاقة (ATP)، عن طريق هدم الغلوكوز، و بدون استخدام الأكسجين مع إنتاج نهائي لحمض اللبن. كما أن عملية هدم الغلوكوز أو الجليكوجين تمر بالمراحل التالية:

- ✓ دخول الغلوكوز في الخلية باستخدام ATP 1.
- ✓ تتم عملية الهدم بتشكيل غلوكوز 6 فوسفات، لتتواصل بذلك سلسلة التفاعلات.
- ✓ تستمر سلسلة التفاعلات للغلوكوز 6 فوسفات لتعطي جزيئتين من حمض البيروفيك.
- ✓ تشكيل حمض اللبن مع إنتاج طاقة (ATP) وفقا للآلية التالية:

(LDH)

1 glucose + 2NAD + 2 ADP + Pi ⟶ 2pyruvate + 2NADH2+2ATP

حسب Lacour, (1992) "عملية الغليكوليز اللاهوائي تعطي (ATP). 3 مع 2 مول من اللاكتات، فيتم تشكيل اللاكتات من خلال LDH و NAD، يقوما بتحويل حمض البيروفيك إلى حمض اللبن و هذا ما يتضح أثناء التقلص العضلي اللاهوائي (Lacour J.R, 1992 , P 137)

و أشار (Carplet C et Carplet P, 1986, P336) " أن الصرف الطاقوي يرتفع بحوالي 200مرة عن وضع الراحة، و قد أثبتت الدراسات بأن التركيز لحمض اللبن في الدم أثناء التمرين لدى البالغين قد يصل 17 ملي مول/كلغ و قد يصل إلى 11ملي مول/كلغ في سن 13 إلى 14 سنة، و يرجع ذلك إلى التركيز الضعيف لأنزيم الفوسفوفركتوكيناز (PFK) في عضلات الرياضيين في سن 11-13 سنة، و هذا الأنزيم يستعمل بدرجة كبيرة أثناء عملية الغليكوليز اللاهوائي. وتصل القدرات القصوى للمصدر الطاقوي اللاهوائي اللبني إلى 150كيلو جول/د للشخص العادي. و في الوقت الحالي لا توجد طريقة دقيقة من أجل تحديد كمية ATP المنتجة من النظام اللاهوائي، فإن استخدام تركيز حمض اللبن يعتبر الطريقة الأكثر استخداما كمؤشر للنظام اللاهوائي اللبني .

و نعرف كل من القدرة و السعة في هذا النظام بـ:

أ- القدرة القصوى اللاهوائية اللبنية:

و هي كمية الطاقة المنتجة خلال 30- 40 ثانية الأولى من التمرين . تقيم تحت شكل ميكانيكي خلال تمرين ذا شدة قصوى في مدة 30 ثانية و ممكن أن تقاس خلال 15 – 20 ثانية ومن بين العوامل المحددة لهذا النظام نجد مدى اندفاع عملية الغليكوليز اللاهوائي و مدى نشاط أنزيم (PFK) و عدد و حجم الألياف ذات النوع II و كذا النشاط الحركي (Brunet E et al, 2000, P 29).

ب- السعة اللاهوائية اللبنية:

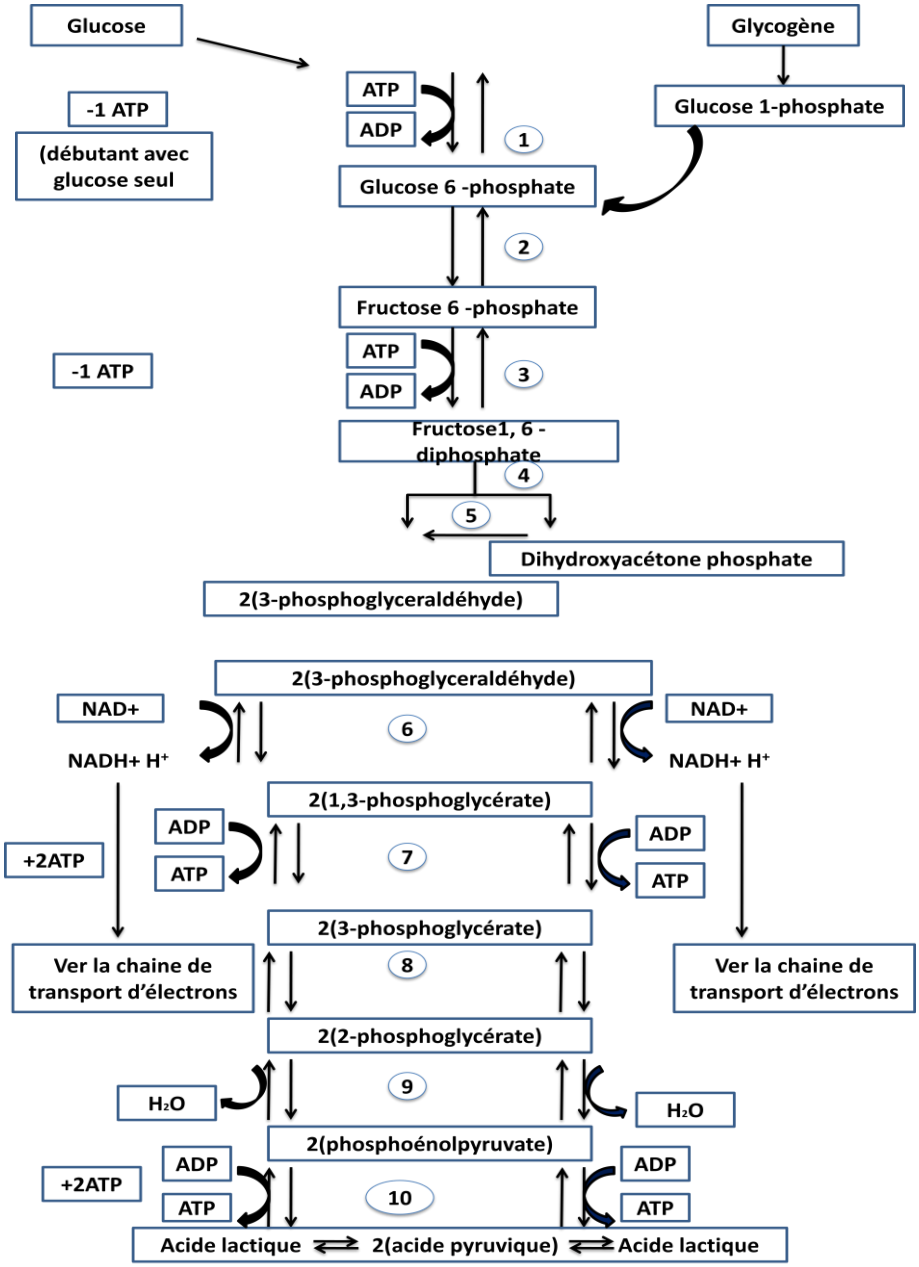
و هي الكمية القصوى للطاقة المنتجة من خلال الجلكزة اللاهوائية، وهي تأثر خاصة على الألياف العضلية ذات النوع IIa ، IIb أثناء التدريب لمدة 30ثا إلى غاية 1,5 د، تتأثر خاصة بهبوط مستوى الـ: PH ، و بذلك فدرجة الحمضية تختلف من تمرين لآخر حسب مدة و شدة المجهود البدني المبذول حيث يصل تركيز حمض اللبن في الدم إلى 20ميلي.مول/ل (Brunet E et al, 2000, P 30).

ج-خصائص الآلية الطاقوية اللاهوائية اللبنية:

تتميز خصائص هذه الآلية حسب (Brunet E et al, 2000, P 31) بالعناصر التالية:

- ✓ دخول سريع في الآلية بضع ثواني.
- ✓ مدة الجهد قصيرة.
- ✓ تطوير القدرة 15-20ثا/40-50ثا.
- ✓ تطوير السعة 40-50ثا/ 1-2د.
- ✓ شدة الجهد قريبة جدا من القصوى.

✓ الراحة تكون نشطة و كلية، متوافقة مع شدة و مدة الجهد أثناء التدريب



صورة رقم (03): مخطط عام لتحول الغلوكوز (جزيئة مكونة من 6 كربونات) و الجليكوجين (سلسلة من جزيئات الغلوكوز)، إلى حمض البيروفيك (جزيئة من 3 كربونات). هذه الآلية تسمى باللاهوائي، تتكون من عشرات المراحل .

2-1 الآلية الطاقوية الهوائية (نظام الأكسجين):

و هي عبارة عن مجموعة التفاعلات التي تنتج طاقة (ATP) و ذلك بتدخل الأكسجين، السكريات، الدهون، وثانويا البروتينات، و في حضور الأكسجين تدخل الكمية الكبيرة من حمض البيروفيك الناتجة من تحلل الغلوكوز في تفاعل مع كونزيم A من أجل إعطاء الأستيل كونزيم A، لتتم مراحل التفاعل بالأكسدة في الميتوكوندري أثناء حلقة كربس مصاحبا ذلك تحرير غاز الكربون و ديدروجان، المسئول عن نقل (FAD-

NAD في السلسلة التنفسية) كما يمكن تبيين كمية و سرعة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) من خلال قياس الحجم الأقصى لاستهلاك الأكسجين ($VO2_{max}$) و حجم الأكسجين المستهلك، علما أن 1 لتر من الأكسجين يمثل 290ملي مول من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) في حالة أكسدة الغلوكوز" (Thill E et al, 1989 , P 90).

و يستخدم الجليكوجين و الذهون أثناء النشاط الرياضي كمصدر لإنتاج الطاقة اللازمة لإعادة بناء الـ(ATP)، و عملية تحويل الدهون إلى أحماض دهنية تدخل ضمن دائرة كربس و نظام الناقل الإلكتروني لإنتاج الطاقة، غير أن أكسدة الذهون تتطلب كمية كبيرة من الأكسجين، حيث تبلغ كمية الأكسجين اللازمة لإعادة 1 مول من ATP 3,5 لتر إذا كان مصدر الطاقة هو الجليكوجين، بينما تبلغ كمية (O_2) 4 لترات إذا كان المصدر هو الدهون.

و بالنسبة للنظام الهوائي نعرف كل من القدرة و السعة الهوائية كالتالي:

1-2-1 القدرة القصوى الهوائية:

هي البداية القصوى لأكسجين و الحجم الأقصى لأكسجين الموجود على المستوى الرئوي و المنقول في الجهاز الدوري التنفسي من طرف هيموغلوبين الدم و الفسفرة التأكسدية في الميتوكوندري تحت تأثير التمرين البدني، و خلال و حدة زمنية (نصر الدين سيد أحمد ، 2003، ص21) .

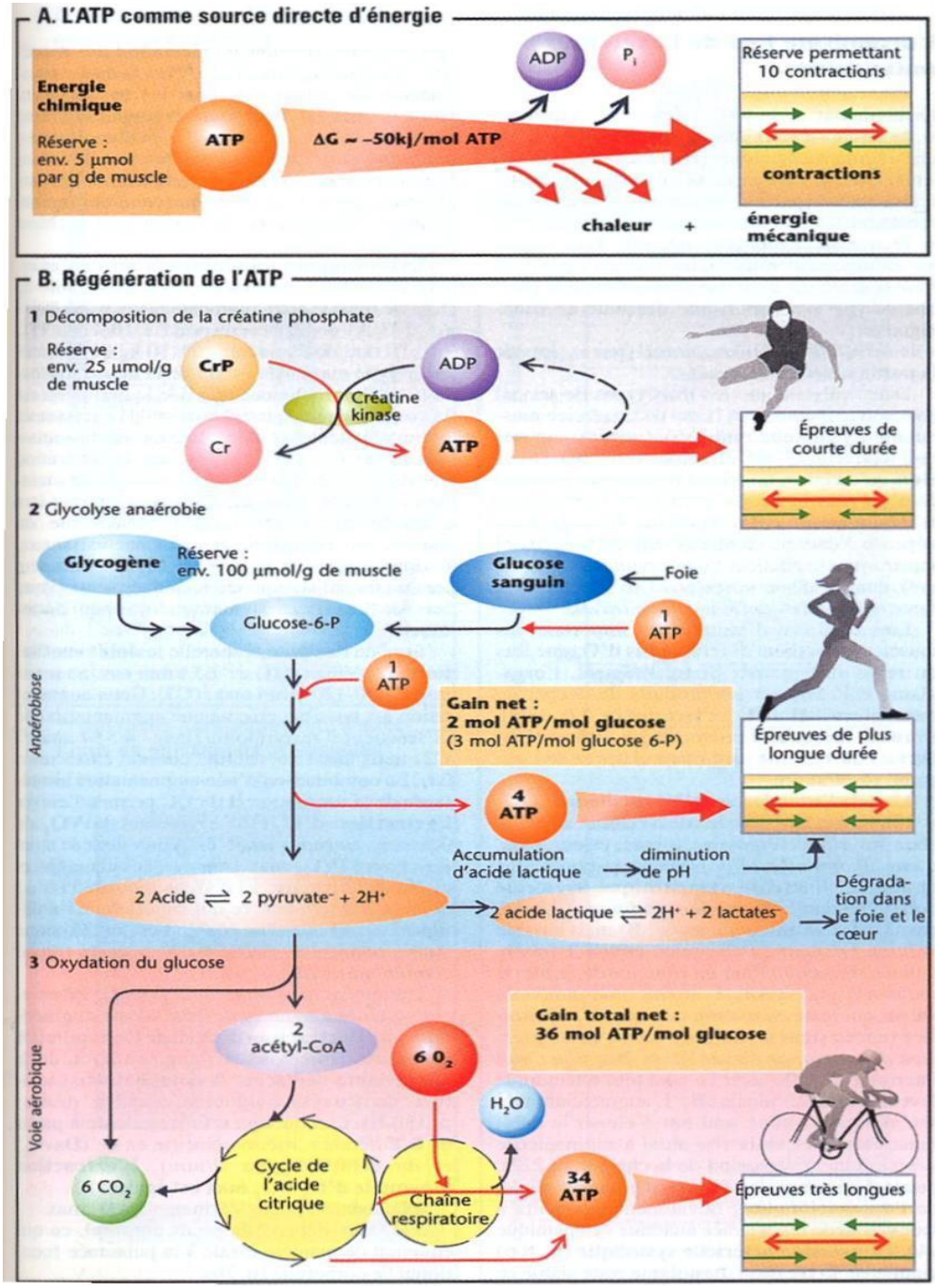
2-2-1 السعة القصوى الهوائية:

هي الكمية القصوى للطاقة الممكنة من خلال أكسدة المركبات الطاقوية، فالمداومة القصوى الهوائية تقاس بمدة الجهد البدني المطبق بعد حصول التعب في مستوى معين من الحجم الأقصى للأكسجين المستهلك أو السرعة القصوى الهوائية، تمثل المداومة القصوى الهوائية بكمية العمل المنجز أو المسافة المقطوعة أثناء الجري (Brunet E et al, 2000, P 41).

3-2-1 خصائص الآلية الطاقوية الهوائية :

تتميز خصائص الآلية الهوائية حسب (Brunet E et al, 2000, P 6) بالنقاط التالية:

- ✓ النبض القلبي الأولي 90 حتى 120 ن/د.
- ✓ مدة العمل تكون طويلة من أجل تطوير القدرة 2-3د/15د.
- ✓ شدة الجهد تساوي أو أقل من 3/2 من الإمكانية القصوى للرياضي.
- ✓ السرعة القصوى الهوائية (VMA) تختبر بإجراء الاختبارات الميدانية الخاصة برياضيي المستوى العال.
- ✓ الراحة تكون نشطة مع مدة قصيرة حسب نوعية التدريب (120-140 ن/د).



صورة رقم (04): عملية أكسدة كل من الغلوكوز أو الجليكوجين و صولا إلى حلقة كربس و السلسلة التنفسية

.

جدول رقم (01): الآليات الرئيسية المنتجة للطاقة و مدة الاستمرار في مختلف الأزمنة أثناء بذل المجهود البدني حسب مجموعة من الباحثين.

الآلية الطاقوية / الباحث	اللاهوائية اللالبنية		اللاهوائية اللبنية		الهوائية	
	القوة	القدرة	القوة	القدرة	القوة	القدرة
Astrand P.O, 1973	0 – 7ثا	7ثا- 15ثا	15ثا- 45ثا	45ثا – 2د	2د-6د	+ 6د
Flandrois R, 1980	بسرعة	3ثا- 8ثا	20ثا	90ثا	2د	10د- 30د
Zatsiorsky V M,1980	10ثا	10ثا-20ثا	20ثا-45ثا	45د – 1و45ثا	2د-3د	+ 5د
Fox-Mathews, 1983	2ثا- 3ثا	20 ثا	40 ثا-45 ثا	2د	2-3د – 20د	30د-1سا
Palau J M, 1985	0-3 ثا	8 ثا	-	90ثا	3'-1'30"	+3'
Mc Ardle1 W D,1986	بسرعة	12 ثا	30 ثا	3د	3د-9د	+10د
Craplet P, 1986	4 -7ثا حتى 10 ثا	حتى 20 ثا	20 ثا - 1د	3د	3د -20د	+20د
Richard C,	-	6 ثا	-	40ثا- 2د	-	25د
Di Prampero, 1988	بسرعة	10 ثا	20 ثا-15 ثا	30 ثا-90	1'30"-3د	3 د- 5د
Platonov V L, 1988	بسرعة	7 ثا -10 ثا	20ثا-40ثا	2د	3د – 10د	حسب نسبة VO2max
Brousse & During, 1989	7 ثا - 10 ثا	20ثا- 30 ثا	30ثا – 50ثا	2-20"د	3د – 15د	حسب نسبة VO2max
Cazorla G, 1989	-	10 ثا	-	2د	-	مدة طويلة
Robert.G, 1990	I بسرعة	5ثا	15ثا	30ثا- 90ثا	2د – 3د	3د – 7د
Brunet E, Guedj J,Mouen B, 2000	0- 5-7ثا	5-7ثا 15-20ثا	15-20ثا 40-50ثا	40-50ثا- 1-2د	2-3د 10-15د	أكثر من 15د
Véronique billat, 2003	3ثا	8- 10ثا	12ثا- 30ثا	30ثا- 120ثا	2د- 6د	20د-60د

2- مدة المجهود البدني:

يتوقف النشاط البدني على مصادر طاقوية إما أن تكون هوائية أو لاهوائية حسب طبيعة المسلك الأيضي الذي يمثل المصدر الرئيسي للطاقة وتتدخل طبيعة التمرينات المطبقة في نوعية العمل الطاقوي المستخدم وبطبيعة الحال حسب شدة هذه التمرينات ويبين الجدول رقم (02) نسبة اشتراك الأنظمة الطاقوية حسب مدة المجهود.

الجدول رقم (02): أهمية مدة المجهود في تحديد نسبة اشتراك الأنظمة الطاقوية (Astrand P.O et Rodhal .K, 1973, P 45)

مدة المجهود البدني	الهوائي (%)	اللاّهوائي (%)	
		لا حمضي لبني	حمضي لبني
04 ثواني	05	85	10
10 ثواني	15	50	35
30ثانية	20	15	65
01 دقيقة	30	08	62
02 دقيقة	50	04	46
04 دقيقة	70	02	28
10 دقيقة	90	01	09
30دقيقة	94	01	05
01 ساعة	97	01	02
02 ساعة	98	01	01

3- شدة المجهود البدني:

ولقد أشار (Nadeau M et Perpenset F, 1980, 67-68) " إلى أنه نستطيع أن نقيم الشدة من خلال سرعة التمرين البدني أو حسب المقاومة المعاكسة لأداء التمرين حيث كلما كانت الشدة مرتفعة كانت المدة قصيرة و بالتالي فهناك علاقة بين الشدة و المدة و المقاومة "، كما تعتبر كمية حمض اللبن كدليل على شدة المجهود العضلي المبذول و من خلال الدراسات المجرات على عدة مباريات و جد بأن نسبة حمض اللبن تتغير من 5 إلى 10 ملي مول/ل و نادرا ما تتجاوز 10ملي مول/ل و هذا مرتبط بالتكتيك المتبع، نوع الخصم و مستوى اللاعب، مستوى التدريب، مناصب اللاعبين و بنوع الألياف العضلية للاعب. و في حالة التمرينات المفاجئة ذات شدة عالية يتدخل الـ(ATP-CP) و الغليكوليز اللاهوائي علما أن المصدر الطاقوي اللاهوائي مع تشكيل حمض اللبن خاضع في أغلب الأحيان إلى اللعب المفروض من قبل الخصم.

الجدول رقم (03): تصنيف مدة التمارين البدنية حسب شدة و مدة المجهود (Lacoste C et al, 1996, P61).

نوع التمرين	**الشدة**	**المدة المتوسطة**
تمرين إنفجاري.	أقصى.	من 0-7 ثواني.
تمرينات السرعة.	كبيرة جدا.	من 8-20 ثانية
مجهودات متعلقة بـ PMA.	من 95- 100% من PMA.	من 20ثا-5دقائق.
مداومة نشطة.		
مداومة قاعدية.	من 75-95 من PMA.	من 5د- 01ساعة.
	أقل من 75% من PMA.	أكثر من 01 ساعة

4- الدفع الطاقوي اللاهوائي الأقصى:

الدفع الطاقوي مصدره الرئيسي هو (ATP) و الكرياتين فوسفات (CP) و الغليكوليز اللاهوائي و هذا ما يستدعي عدة اختبارات : القفز العمودي، لاختبار مارقاريا، اختيار Wingate و اختبار حمولة السرعة. مع الأخذ بعين الاعتبار مسافة الانتقال، الزمن، القوة أو الكتلة المتحركة، مما يسمح بتقييم و تقدير الاستطاعة الطاقوية القصوى لكلا النظامين اللاهوائيين اللالبني و اللبني و من بين المشاكل المرتبطة بهذا التقدير حسب (Vandewelle H et al, 1987,P 279)نجد:

- ✓ الغياب الشبه كلي للأثر الخارجي للنظام اللاهوائي على عكس تأثيره على النظام الداخلي الخلوي و الدموي.
- ✓ عدم معرفة و جهل للاستطاعة المناسبة للدفع الطاقوي.
- ✓ تشابه و تداخل النظامين مع تدخل عمل طاقوي مختلف الكم.
- ✓ ارتباط الأكسجين مع الميوغلوبين متدخلا كمخزون.

5- الطاقة و المجهود:

أثناء عملية التقلص العضلي تستعمل العضلة الأدينوزين ثلاثي الفوسفات (ATP) الذي يوفر الطاقة الكافية و اللازمة من أجل الميكانيزمات الداخلية، و من أجل تنشيط مختلف الوظائف التي يشارك فيها الفعل الحركي يؤذي ذلك إلى هدم الـ (ATP) و الرفع من مستوى الأدينوزين ذي فوسفات (ADP)، و الفوسفات الغير عضوي (Pi)، كل هذه المركبات تتدخل في الآليات الطاقوية المنتجة للطاقة اللازمة للنشاط العضلي. هذه الطاقة تنتج من خلال عمليات الأكسدة المختلفة لأوساط العضوية (الجليكوجين ، الغلوكوز، الفوسفات...إلخ) و فقا لآليات مختلفة منها الهوائية و اللاهوائية، ومن أجل تقييم كم و عمل هذه الميكانيزمات المنتجة للطاقة نلجأ إلى استعمال المصطلحات التالية: الاستطاعة و سعة العمل الناتج أثناء بذل الجهد البدني. (Vandewelle H et al, 1987, P 282)

تعرف الاستطاعة حسب (Fox E.L et Mathewes D.k, 1977, P 263) "من الناحية البدنية بكمية العمل (W) خلال وحدة زمنية (t) ".

$$P = \frac{W}{t}$$

P : الاستطاعة.

W: العمل.

t : الزمن.

و يمثل العمل (W) الناتج من تطبيق قوة (f) خلال مسافة معينة.

$$W = F \times D$$

F : القوة.

D: المسافة.

و بالتالي العمل يعطي العلاقة للقوة مع المسافة، فمن أجل رياضي ينتقل مع نفس اتجاه القوة المؤثرة عليه و التي تقدر بـ1كلغ على مسافة 1م، يقدر العمل هنا بالعلاقة السابقة، و لرفع 1كلغ لمسافة 1م للأعلى يجب القيام بعمل قدره : 1كلغ.م

و من الناحية الكيميائية تعرف الاستطاعة بكمية الطاقة الممكنة و المنتجة خلال وحدة زمنية.

و الاستطاعة هي تحمل الأعضاء لحمولات مما يؤدي إلى تطور عضلي بإشراك أكبر المجموعات العضلية كعضلات الظهر و البطن و الساقين، باستعمال الأوزان الإضافية و الكرة الطبية مع تمارين مرونة عضلية مفصلية.

المحور الخامس: تكيفات التدريب الرياضي في المرتفعات

Adaptation de l’entrainement sportive en altitude

مقدمة:

ظهر التدريب على الارتفاعات (أو نقص الأكسجين) مع الألعاب الأولمبية في مكسيكو سيتي (1968)، ومنذ ذلك الحين تمتع باهتمام متزايد بهدف زيادة الأداء على مستوى سطح البحر (أو الحالة الطبيعية) أو من أجل الحصول على التكيفات الفعالة للتظاهرات التي تنظم في المرتفعات. كان استخدام هذا النوع من التدريب جزءا من برنامج التحضير للرياضيين من أول دولتين (الولايات المتحدة وبريطانيا العظمى) من الألعاب الأولمبية الأخيرة في ريو 2016 (Brocher F et al, 2017, P 6).

يمكن أن يكون التدريب في المرتفعات (وليس مكان الإقامة) أي ما يسمى بحالة نقص الأكسجين مفيدا للرياضي. كما أن هذا النوع من التمارين يرفع من التحفيز ويحدث تغييرات مفيدة على مستوى الخلايا العضلية من حيث استخدام الطاقة والقدرة على تحمل الجهد (Millet G.P et al, 201) ، ومع ذلك فإن التأثير على الأداء سيكون أكثر وضوحا في التظاهرات التي تقام أيضا في المرتفعات.

حدوث التكيفات في المرتفعات لم يعد محل شك من حيث زيادة عدد الكريات الدموية الحمراء في الدم، و الواضح أيضا هو تأثير هذه الزيادة على الأداء الرياضي الهوائي (Bonetti D.L et Hopkins W.G, 2009). ومع الأخذ بعين الاعتبار لهذه التكيفات، تم تطوير مجموعة من الطرق التدريبية المتقطعة بنقص التأكسد. بعض الأبحاث توصلت إلى وجود فعالية معينة لهذه التقنيات . ومع ذلك لا يزال يتعين تحديد جرعة نقص الأكسدة اللازمة (Loffredo B.M et Glazer J.L, 2006).

1-الظروف و الشروط المحيطية (Les conditions ambiantes):

من اجل فهم تأثير الارتفاعات على التفوق الرياضي، يجب تحديد الانعكاسات الخاصة بالمرتفعات على المحيط

1-1 الضغط الجوي في المرتفعات (La pression atmosphérique en altitude):

يكون الهواء ثقيل في المرتفعات، بحيث يعمل الضغط الجوي مباشرة بثقل الهواء الموجود في المنطقة، مثال على مستوى سطح البحر الطبقة الجوية تكون ذات عرض يصل إلى 38,6 كلم مع ضغط جوي مقدر بـ760 مم زئبقي وفي أعلى قمة على سطح الأرض إيفرست (8848م) ضغط الهواء لا يتجاوز 250 مم زئبقي.

في قمة إيفرست الضغط الجوي المتوسط يصل من 243 مم ز في شهر جانفي إلى 255 مم ز في شهر جوان و جويلية ، وفي المرتفعات تبقى دائما نسبة الأكسجين 20,93 %، 0,03 % ثاني أكسيد الكربون، 79.04% أزوت، بحيث يختلف الضغط الجزئي للغازات فقط. لا يبقى مستوى الضغط الجوي ثابت بحيث يمكن أن يتغير ،على مستوى قمة إفرست الضغط الجوي المتوسط يكون حوالي مم زئيقي 243 في شهر جانفي ويصل إلى 255 مم زئبقي في شهر جوان و جويلية كما يرتفع الضغط الجوي جزئيا عند الاقتراب من خط الاستواء .

جدول رقم (01): الفروق في الشروط الجوية بين مستوى سطح البحر و 9000 متر من الارتفاع.

Altitude (m)	0 **(niveau de la mer)**	**1000**	**2000**	**3000**	**4000**	**9000**
PB (mmHg)	**760**	**674**	**596**	**526**	**462**	**231**
PO2 (mmHg)	**159,1**	**141,1**	**124,7**	**110,0**	**96,7**	**48, 3**
Température (C°)	**15**	**9**	**2**	**-5**	**-11**	**-43**

2-1 درجة حرارة الهواء في المرتفعات (La température de l'aire en altitude):

تنخفض درجة حرارة الهواء حوالي 1 درجة كلما ارتفعنا بـ 150م ، حيث تتراوح درجة الحرارة المتوسطة في قمة إيفرست -40 درجة مئوية أما على مستوى سطح البحر تصل إلى 15 درجة ، في المرتفعات مستوى الرطوبة ينخفض مع إنخفاض مستويات الحرارة. الهواء بارد يحتوي على كميات قليلة من الماء. الضغط الجزئي للماء عند درجة 20° يكون حوالي 17 مم زئبقي ولكن عند أقل من -20° ينخفض الضغط إلى حوالي 1مم زئبقي . انخفاض مستوى الرطوبة في الارتفاعات ينتج عنه زيادة في فقدان الماء (جفاف الجسم) بسبب عملية التبخر التنفسي نظرا لأن الهواء المتنفس أكثر جفافا مع مستويات مرتفعة للتنفس. الهواء الجاف يرفع كذلك من عملية التبخر العرقي في حالة التمرينات المنجزة .

1- 3 الإشعاع الشمسي في المرتفعات (Les Rayonnement solaire en altitude):

ترتفع شدة الإشعاع الشمسي في المرتفعات نظرا لسببين:

- نقصان امتصاص الأشعة الفوق بنفسجية عند الاقتراب من مصدر الإرسال.
- يفتقر الهواء إلى بخار الماء والذي له دور في امتصاص كمية قليلة من هذه الإشعاعات.

2-الاستجابات الفزيولوجية في المرتفعات (Les repenses physiologique en altitude):

1-2 الاستجابات التنفسية في المرتفعات (Les réponse respiratoires en altitude):

1-1-2 التهوية الرئوية (la ventilation pulmonaire):

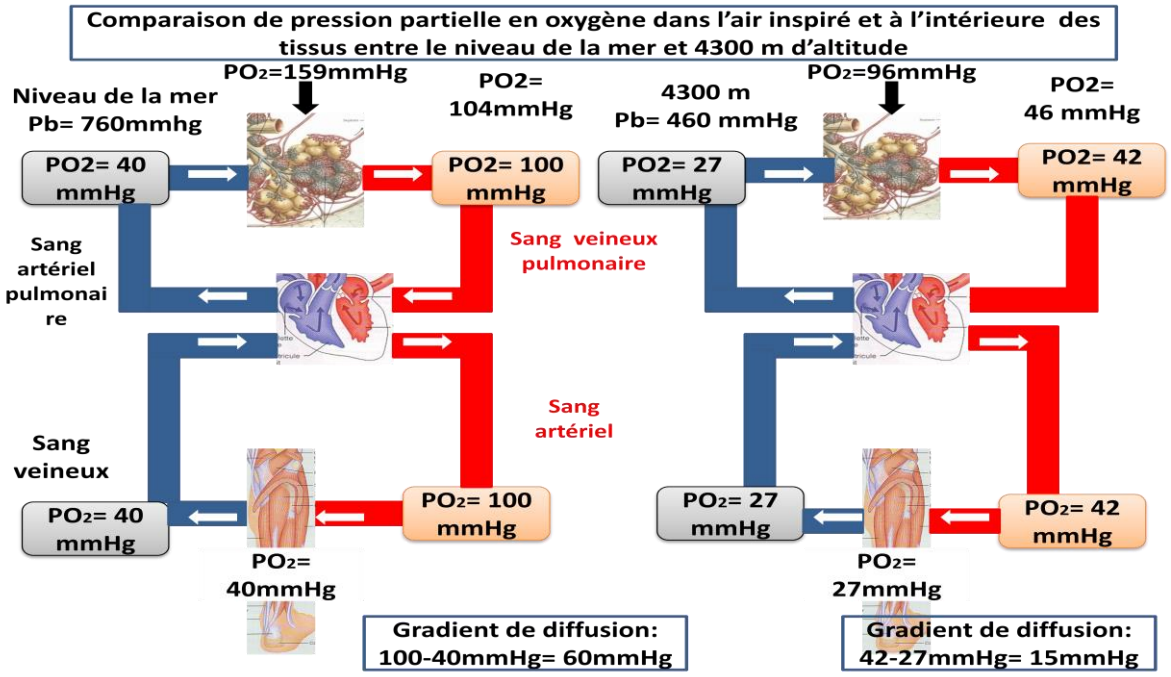
ترتفع التهوية الرئوية في المرتفعات وهذا سواء في الراحة أو أثناء أداء التمرينات ، المستقبلات الكيميائية في الشريان الابهر أو الشريان السباتي تحفز بسبب انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين PO2 وهذا يؤدي بوصول رسائل إلى مركز التنفس في الدماغ ، و نظرا لانخفاض في جزيئات الأكسجين في الهواء، بالتالي يجب الزيادة في حجم الهواء المتنفس بزيادة في التهوية الرئوية لتحقيق نفس الكمية على مستوى سطح البحر. هذه الزيادة في عملية الهواء تهدف إلى التخفيض في نسبة أكسيد الكربون في الحويصلات بحيث يرتفع الفرق

الشرياني الوريدي بين الحويصلات والشعيرات الرئوية مما يؤدي إلى انخفاض في أكسيد الكربون في الدم و الضغط الجزئي، أي تسهيل إزالة أيونات +H.

2-1-2 الانتشار الرئوي ونقل الأكسجين (la diffusion pulmonaire et le transport de l'oxygène) :

يتراوح الضغط الجزئي للأكسجين في على مستولى سطح البحر حوالي 159 مم زئبقي بحيث ينخفض إلى 118 مم ز عند ارتفاع 2439 م، التدرج في الضغط الجزئي بين الحويصلات و الشعيرات ينخفض مما يؤدي إلى نقصان في شدة المبادلات الغازية في هذا المستوى، بحيث أن نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأكسجين تصل إلى 98 %على مستوى سطح البحر ولا تتجاوز 92% عند ارتفاع 2439م.

في المرتفعات انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين في الحويصلات يؤثر على مستوى تشبع الهيموغلوبين بالأكسجين، على مستوى سطح البحر من أجل ضغط جزئي للأكسجين 104مم زئبقي نسبة تشبع الهيموغلوبين تصل إلى 96-97% . في المرتفعات 4300 و بالرغم من انخفاض PO2 على مستوى الحويصلات 46 مم زئبقي تنخفض نسبة التشبع إلى 80%، بالرغم من انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين تبقى مستويات تشبع الهيموغلوبين نوعا ما مرتفعة.



صورة رقم (01): المقارنة بين الضغوط الجزئية للأكسجين في الهواء المستنشق و داخل الأنسجة بين مستوى سطح البحر و 4300 م من الارتفاع.

صورة رقم (03): تأثير مختلف المرتفعات على الأداء.

3-1-2 المبادلات الغازية العضلية (les échanges gazeux musculaires):

على مستوى سطح البحر الضغط الجزئي للأكسجين يصل إلى 100 مم ز داخل الحويصلات و الضغط الجزئي النسيجي يصل إلى 40 مم ز ، التدرج في الضغط الجزئي بين الوسط الشرياني و النسيجي يتراوح إلى 60 مم ز، و في المرتفعات 4300م الضغط الجزئي PO2 الشرياني يساوي حوالي 46 مم ز و الضغط النسيجي حوالي 27 مم ز، التدرج في الضغط بين الوسطين يصل إلى 20 مم ز بنسبة انخفاض تقدر بـ70 %، المبادلات الغازية تكون عن طريق التدرج في الضغط ، رئيسيا الانخفاض في الضغط الجزئي للأكسجين في الجهاز الشرياني يؤدي إلى انخفاض في VO2 max، أو انخفاض نسبة تشبع الهيموغلوبين بالأكسجين.

4-1-2 الاستهلاك الأقصى للأكسجين (la consommation maximale d'oxygèn):

بالنسبة لمتسلقي الجبال في قمم إيفرست سنة 1981 سجلت قيم لـ VO2 max بحيث ينخفض من 62 مل\كغ\د على مستوى سطح البحر إلى 15 مل\كغ\د في قمم جبال إيفرست، هذه القيمة للأكسجين تسمح بتنفيذ محدود للتمرينات البدنية ، كما أوضح (pugh et coll) على مستوى سطح البحر قيمة VO2 max الابتدائية 50 مل\كغ\د، ومن أجل العيش في قمم إيفرست لا يتجاوز الحد الأقصى للأكسجين المستهلك 5مل\كغ\د و هذا لا يكاد يكفي من أجل حياة طبيعية مع نشاط بدني منخفض، و في أقل من 1600 م يمكن أن تؤثر المرتفعات على VO2 max و التحمل، في هذا الارتفاع ينخفض الحد الأقصى للأكسجين المستهلك من 8 % إلى 11% في كل 1000 م .

2-2 استجابات الجهاز القلبي الوعائي في المرتفعات (Les réponse cardiovasculaires en altitude):

لا تؤثر المرتفعات على الجهاز التنفسي فقط بل إنها قد تؤثر أيضا على الجهاز القلبي الوعائي وهذا بظهور مجموعة من التكيفات نتيجة انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين في المرتفعات .

2-2-1حجم الدم (le volume sanguin):

في الساعات الأولى التي تتبع الوصول إلى المرتفعات، ينخفض الحجم البلازمي للدم و هذا راجع إلى عملية إفراغ البول، وزيادة فقدان الماء عند التنفس راجع ذلك إلى جفاف الهواء من جهة وزيادة عملية التهوية، هذا الانخفاض في الحجم البلازمي قد يصل إلى 25 %. و هذا دون التغير في عدد الكريات الدموية الحمراء، هذا النقص في الحجم البلازمي يصاحبه نقص أولي في حجم الدم الكلي مع زيادة في الكسر الحجمي للكريات الحمراء (hématocrite).

عند طول مدة التوضع في المرتفعات يحفز إفراز هرمون (l'érythropoïétine) من طرف الكلى و هو هرمون يحفز إنتاج (érythrocytes) كريات الدم الحمراء، مما يرفع من نسبتها في كل 1مل من الدم، يصاحب ذلك زيادة في نقل و توفير الأكسجين على مستوى الأنسجة. هذه الزيادة ينتج عنها تدريجيا زيادة في الحجم البلازمي للدم وتعويض انخفاض الضغط الجزئي للأكسجين.

2-2-2 حجم الضربة (le débit cardiaque):

إن الانخفاض في الضغط الجزئي للأكسجين في الدم يخفض من التدرج في الضغط الجزئي بين الدم والأنسجة و يحدد نقل الأكسجين و توفيره على مستوى الأنسجة و العضلات ، نظريا يمكن تعويض ذلك بزيادة في حجم الضربة، تؤدي المرتفعات سواء في الراحة أو التمرينات البدنية إلى زيادة في حجم الضربة.

يرتفع النبض القلبي عند مستوى التمرينات البدنية تحت قصوى في المرتفعات مقارنة بمستوى سطح البحر،على العكس ينخفض حجم الدفع القلبي بسبب انخفاض الحجم البلازمي للدم، ومن حسن الحض أن الزيادة في النبض القلبي يمكن أن تعوض النقص في حجم الدفع القلبي و بالتالي الزيادة التدريجية في حجم الضربة، كل هذه العوامل تؤدي إلى حمولة زائدة في العمل على القلب بحيث لا تستمر لفترة طويلة، بعد مدة من الأيام تصبح العضلات أكثر قدرة على نزع الأكسجين مع زيادة في الفرق الشرياني الوريدي للأكسجين هذا ما يخفض من عمل القلب بالتالي نقص في النبض القلبي بعد مدة من التواجد في المرتفعات. بعد أيام ينخفض حجم الضربة مما كان عليه في الأيام الأولى عند التواجد في المرتفعات.

بالنسبة للمرتفعات الأكثر علو، حجم الدفع القلبي الأقصى و النبض القلبي الأقصى ينخفضان بشكل ملاحظ، بالنسبة لحجم الدفع القلبي ينخفض نظرا لنقصان في الحجم البلازمي، أما للنبض القلبي الأقصى راجع

إلى نقصان في نشاط الجهاز العصبي السمبثاوي (انخفاض في عدد أو نشاط مستقبلات β القلبية، catécholaminergique)هذا ما يخفض من حجم الضربة الأقصى ومن جهة أخرى مع نقصان في تدرج انتشار الأكسجين بين الشعيرات و الأنسجة، يؤثر ذلك على الحجم الأقصى للأكسجين و القدرات البدنية ككل . رئيسيا التواجد في المرتفعات يؤدي إلى نقص في توفير و توزيع الأكسجين في العضلات مع نقص في قدرة الجسم على إنجاز تمرينات بدنية هوائية بشدة مرتفعة.

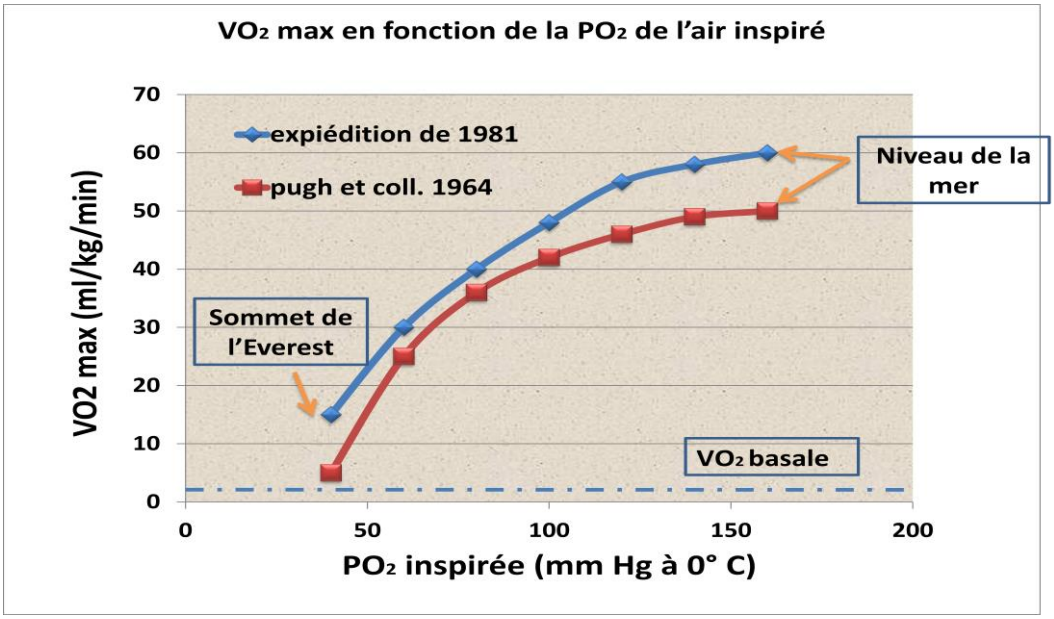
3-2-2 ارتفاع الضغط الشرياني الرئوي (l'hypertension Artérielle pulmonaire):

في المرتفعات يرتفع الضغط في الشرايين الرئوية بصورة ملاحظة عند أداء التمرينات بالنسبة للأشخاص اللذين لديهم تكيف أو لا، الآلية المسئولة عن هذا الارتفاع غير محددة إلى حد الآن، وضع من المحتمل أن يكون هناك تحولات بنيوية في جدران الأوعية الدموية الرئوية استجابة لانقباض العروق vasoconstriction hypoxique نظرا لنقص الأكسجين في الدم، إن الزيادة في الضغط الشرياني الرئوي و التهوية الرئوية يؤدي إلى زيادة في تدفق الدم على مستوى الرئتين مما يسمح بالرفع من مساحة المبادلات بين الهواء و الدم .

4-2-2 الاستجابات الأيضية في المرتفعات (Les adaptations métaboliques à l'altitude):

التوضع في المرتفعات يرفع من مستوى العمليات الايضية في الراحة مع تحفيز إفراز بعض الهرمونات مثل الثيروكسين و الكاتي كولامين، في نفس الوقت حدوث اضطراب في الشهية عند الأيام الأولى. في حالة عدم الاكتفاء من المواد الغذائية يؤدي ذلك إلى فقدان الوزن، بالنسبة للأشخاص الذين يحافظون على الوزن يرفعون من مستوى المواد السكرية في الراحة.

انخفاض إمكانيات الأكسدة في المرتفعات، يصاحبه استخدام متزايد لعمليات الهدم اللاهوائية في المرتفعات وهذا من أجل تحقيق الاكتفاء لزيادة المتطلبات الطاقوية عند أداء التمرينات، مما يلاحظ زيادة في تركيز الدم لحمض اللبن عند التمرينات البدنية التحت قصوى في الأيام الأولى، وفي حالة طول مدة التوضع في المرتفعات تبقى مستويات تركيز حمض اللبن منخفضة على ما هو ملاحظ عند مستوى سطح البحر حتى عند التمرينات البدنية القصوى .



صورة رقم (04): الحجم الأقصى للأكسجين حسب مستوى الضغط الجزئي لغاز الأكسجين المستنشق.

3- التكيفات الحاصلة في المرتفعات (acclimatation a l'altitude):

بالنسبة للأشخاص الذين لهم عدة أسابيع في المرتفعات يتأقلم الجسم لنقص الضغط الجزئي للأكسجين، ومهما كانت هذه التكيفات لا تسمح بالتعويض الكلي للنقص الحاصل في الأكسجين. و حتى بالنسبة للأشخاص المتميزين بالتحمل مع البقاء لمدة طويلة في المرتفعات لا يصلون أبدا لنفس المستوى لحجم الأكسجين الأقصى مثل ما هو على مستوى سطح البحر. هذه التكيفات تكون على مستوى الدم، العضلات، الجهاز القلبي التنفسي.

1-3 التكيفات التنفسية (Adaptations respiratoires) :

التكيف الرئيسي الحاصل في المرتفعات فيما يخص عملية التنفس هو زيادة عملية التهوئة الرئوية في الراحة و عند التمرينات بعد 3 إلى 4 أيام من التوضع في إرتفاع 4000م التهوئة في الراحة ترتفع حوالي 40% مقارنة بالتواجد على مستوى سطح البحر، في التمرينات ذات الشدة الأقل من القصوى فرط التهوئة يستقر عند 50% .

2-3 التكيفات الحاصلة في الدم (les adaptations sanguines):

بعد عدة أسابيع من التواجد في المرتفعات نلاحظ زيادة في عدد الكريات الدموية، نقص الأكسجين يحفز إفراز هرمون L'érythropoïétine ، الذي يعمل على تنشيط تصنيع الكريات الحمراء، في الثلاث الساعات الأولى عند الوصول إلى المرتفعات يرتفع مستوى تركيز هذا الهرمون في الدم بحيث يصل إلى أقصاه بعد 24 إلى 48 ساعة، و بعد التواجد لمدة 6 أسابيع في مرتفع 4000 م يرتفع حجم الدم بنسبة 9 إلى 10 %. هذه الزيادة لا ترجع فقط إلى زيادة و نشاط هرمون (L'érythropoïétine).

بل أيضا ترجع إلى التوسع في الحجم البلازمي، بالنسبة للأشخاص الذين يعيشون في البيرو (4540م) لديهم نسبة 60 إلى 65 % في الكسر الحجمي للكريات الدموية الحمراء (hématocrite) هذه القيمة تتجاوز

القيم المتوسطة التي تتراوح بين 45 إلى 48 % الملاحظة على مستوى سطح البحر، وما هو ملاحظ بالنسبة للكسر الحجمي للكريات الحمراء للأشخاص الذين يعيشون على مستوى سطح البحر أنها ترتفع لتصل إلى 59 % بعد 6 أسابيع من التواجد في المرتفعات.

إن الزيادة في عدد الكريات الدموية الحمراء يصاحبه زيادة في تركيز الدم بالهيموغلوبين الذي يرتفع عند التواجد في المرتفعات، هذا التأقلم يسمح بزيادة نقل الأكسجين في الدم، التكيفات الحاصلة بعد مدة من التواجد في المرتفعات تسمح بزيادة جديدة في الحجم البلازمي للدم و عدد الكريات الدموية الحمراء، هذه التكيفات تسمح فقط بتحسين نقل الأكسجين و لا تكفي من أجل تحقيق نفس المستويات لحجم الأكسجين الأقصى المستهلك (VO2 max)عند التواجد على مستوى سطح البحر.

جدول رقم (02): التحولات في الخصائص البنيوية والأيضية للعضلة بعد 4 إلى 6 أسابيع من التواجد في نقض الأكسجين المزمن.

Modifications des caractéristiques structurels et métaboliques du muscle après 4 à 6 semaines d'hypoxie chronique

Paramètres	Variation	% variation
Surface de muscle	Diminution	11-13
Surface des fibres lentes (ST)	Diminution	21-25
Surface des fibres rapides (FT)	Diminution	19
Densité capillaire (capillaires par mm^2)	Augmentation	13
Succincte déshydrogénase	Diminution	25
Citrate synthase	Diminution	21
phosphorylase	Diminution	32
phosphofructokinase	Diminution	48

3-3 التكيفات العضلية (les adaptations musculaires):

تنخفض مساحة الألياف العضلية وبالتالي مساحة العضلة ككل في المرتفعات، أما كثافة الشعيرات الدموية ترتفع مما يحسن من إمكانية توفير وتوزيع الأكسجين في العضلات، حسب (Costill et al) بالنسبة لستة متسلقي الجبال في قمة (McKinley) فقدوا حوالي 6 كلغ في الوزن، هذا الفقدان راجع إلى نحول الجسم و نقصان حجم الماء في الوسط الخارجي للخلايا .

إن التواجد في المرتفعات العالية لمدة طويلة يؤدي إلى نقص في الشهية وبالتالي نقص في الوزن بصورة غير مهمة، هذا النقص في الوزن راجع إلى نقص حجم الماء في الوسط الخارجي للخلايا والذوبان العضلي، أي بمعنى نقصان في مساحة الألياف العضلية البطيئة والسريعة، كذلك من المعتقد منطقيا فقدان الشهية يحفز على إزالة البروتينات العضلية.

عدة أسابيع من التواجد في المرتفعات أكثر من 2500م تؤدي إلى التخفيض في القدرة الايضية للعضلات هذة النتيجة تصبح أكثر دلالة بعد 3 إلى 4 أسابيع في المرتفعات العالية ، و في قمة إيفرست لوحظ انخفاض في نشاط الأنزيمات الجليكوليكية و الميتوكوندرية على مستوى عضلات الفخد و الساق، في هذه المرتفعات لا ينخفض محتوى الأكسجين فقط في العضلات بل يتعدى ذلك نقص في قدرة الفسفرة التأكسدية و الجليكوليكية في العضلات و هذا ما يؤثر على الاداء الهوائي و اللاهوائي .

4-3 التكيفات الجهاز القلبي التنفسي (les adaptations cardiorespiratoires):

الزيادة في التهوية الرئوية عند الراحة و التمرينات البدنية تعتبر التكيف الرئيسي الحاصل في المرتفعات، و هذا نتيجة للنقص في الضغط الجزئي للأكسجين في الهواء المتنفس، عند مرتفع 4000م يمكن أن ترتفع التهوية الرئوية حوالي 50 % في الراحة، أثناء التمرينات البدنية تحت قصوى ترتفع مستويات التهوية من أجل إزالة غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) أي بمعنى وسط أقل حموضة ، من أجل العمل على الرفع من درجة الحموضة (PH) يعمل الجسم على التخفيض من مستوى البيكربونات في الدم.

قائمة المراجع:

الجبور نايف مفضي، فسيولوجيا التدريب الرياضي، ط1، مكتبة المجتمع العربي للنشر و التوزيع، عمان، 2012.

نصر الدين سيد أحمد، فسيولوجيا الرياضة نظريات و تطبيقات، دار الفكر العربي، القاهرة، 2003.

1)

2) **Adams G.M**, Exercise Physiology, Laboratory manual. McGraw-Hill, USA, 1998.

3) **Astrand P.O, Rodahl K,** précise de physiologie de l'exercice musculaire, Ed Masson, paris, 1994.

4) **Bernard J.J,** bioénergétique cellulaire, Marketing S.A, Ed Ellipses, Paris, 2002.

19) **Biodis.** Physiologie animale- contraction musculaire. 2015. Http://www.vdsciences.com/pages/sciences-biologiques/biologie-animale/physiologieanimale/ physiologie-animale-4.html (access January 2018).

20) **Bonetti DL, Hopkins WG**. Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: a meta-analysis. *Sports Med.* 2009;39(2):107-27.

21) **Brocher F, Girard O, Millet G.P**, Innover en préparation physique avec l'entraînement en altitude, institut national du sport, de l'expertise et de la performance, February 2017. https://www.researchgate.net/publication/313922193.

5) **Brunet G.E, Moyen B, Genétry J ,** Médecine du sport 6éme édition, Ed Masson, Paris, 2000.

22) **Camus G,** la contraction musculaire, planet vie , Ressources en sciences de la vie pour les enseignants, 2006. https://planet vie.ens.fr/thematiques/animaux/systeme-locomoteur/la-contraction-musculaire

6) **Carplet C, Carplet P**, physiologie et Activité sportive, Ed Vigot, Paris, 1986.

7) **Carplet C, Carplet P**, physiologie et Activité sportive, Ed Vigot, Paris, 1986.

23) **Carplet C, Carplet P**, physiologie et Activité sportive, Ed Vigot, Paris, 1986.

24) **Close R.** (1967) Properties of motor units in fast and slow skeletal muscles of the rat. J. Physiol. (London), .1.2.3.. 45-55.

8) **Cometti G,** les méthodes modernes de musculation : données théorique Tome1, UFR staps, université de bourgogne, Digon, 1989

9) **Dekkar N, Brikci A, Hanifi R,** Technique d'évaluation physiologique des athlètes, 1ére édition, Ed Comité Olympique Algérien, Alger, 1990.
10) **Dellal A,** de l'entrainement à la performance en foot ball, Ed de boeck, Bruxelles, 2008.
25) **Durmort C,** les microfilaments d'actine, chapitre 1, le cytosquelette, Université Joseph Fourier de Grenoble, Année universitaire 2011/2012 .
11) **Fox E.L, Mathewes D.k,** Interval training, Ed Vigot, Paris, 1983.
12) **Fox E.L, Mathewes D.k,** Interval training, Ed Vigot, Paris, 1983.
26) **Gael G,** adaptations structurales et nerveuses du système neuromusculaire induites par l'exercice excentrique isotonique versus isocinétique, thèse de doctorat d'université, université de nantes, 2010.
27) **Gaillard R et Servien E**, anatomie du muscle et tendon, DIU de pathologie locomotrice liée à la pratique du sport , Lyon– 30/03/2017.
13) **Harichaux P, Medelli H,** VO2max et performance, Ed Vigot, Paris, 1992.
28) **Harvey S,** les blessures médullaires, Parésie et hémiparésie: contrer l'atrophie musculaire grâce à l'activité. Publié le 24 novembre 2015 **,** physiquehttps://lesblessuresmedullaires.wordpress.com/2015/11/24/paresie-et-hemiparesie-contrer-latrophie-musculaire-grace-a-lactivite-physique/
29) **Huxley H E.** Muscle cells. The cell, 4(part 1) :365, 1960.
14) **Joussellin E, Legros L,** Médecine du sport, Ed INSEP, Paris, 1990.
15) **Joussellin E, Legros L,** Médecine du sport, Ed INSEP, Paris, 1990.
16) **Lacoste C, Alezra G, Jean-Paul Dugal, Daniel R,** La pratique du sport, Biologie, Entraînement, Santé, Ed Nathan, Paris, 1996.
17) **Lacoste C, Alezra G, Jean-Paul Dugal, Daniel R,** La pratique du sport, Biologie, Entraînement, Santé, Ed Nathan, Paris, 1996.
18) **Lacour J.R**, Biologie de l'exercice musculaire, Ed Masson, Paris, 1992.
30) **Loffredo BM, Glazer JL**. The Ergogenics of Hypoxia Training in Athletes. *Current Sports Med Reps* 2006, 5:203–209
31) **Marieb E N**, Anatomie et physiologie humaine , De Boeck Supérieur, paris, 1999.
19) **Marieb E.N**, Anatomie et physiologie humaine, traduction de la 4éme édition américaine , par jean-pierre Artigau, France boudreault, Annis desbiens, Marie- Claude désorcy Adaptation française de René lachane, Edition De Boeck université, paris, 1999.
20) **McDougall J.D, Tuxen D, Sale D.G, Moroz J.R, Sutton J.R,** Arterial, blood pressur response to heavy resistance exercise, journal of Applied Physiology, 58, P 785-790, 1985.
32) **Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP**. Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Med.* 2010;40(1):1-25.

21) **Monod H, Flanderois R,** bases physiologiques des activités physiques et sportives, Ed Masson, Paris, 2003**Thill E et Thoams R, Caja J,** manuel de l'éducateur sportif ; préparation au brevet d'état, 7e édition, Ed Vigot, Paris, 1987.
22) **Nadeau M, Perpenset F**, Physiologie Appliquée de l'activité, Ed Vigot, Paris, 1980.
23) **Nadeau M, Perpenset F**, Physiologie Appliquée de l'activité, Ed Vigot, Paris, 1980.
24) **Palau J.M**, science biologiques de l'enseignant sportif, Ed Doin, paris, 1985.
33) **Palau J.M**, science biologiques de l'enseignant sportif, Ed Doin, paris, 1985.
34) **Patalano M**, La production de mouvements volontaires, Cours de Terminale Spé SVT : Chapitre 12, 18 février 2021, http://www.innoverensvt.com/archives/2021/02/01/38791498.html
35) **physiologie des systèmes intégrés**, les principes et fonctions , La myosine forme le filament épais, science de la vie , https://ressources.unisciel.fr/physiologie/co/2c1a.html
25) **Platonov V.N,** L'entraînement sportif. Théorie et méthodologie de l'entraînement, *Ed Revus EPS* , Paris, 1988.
26) **Poortmans J.R, Boisseau N**, biochimie des activités physiques et sportives, collection sciences et pratiques du sport, Ed de Boeck, paris, 2009.
36) **Smith C.** «The Elevated Troponin: What else besides ACS could cause troponin elevation?» emDocs, (2016).
27) **Stenberg J, Astarnd R Ekblom B, Royce J, Saltin B**, Hemodynamic response to work with different muscls groups, sitting and supine, Journal Apllied Physiology, 22, 61-70; 1967.
28) **Tanaka I.L, Monahan, D.K , Seals D.R,** Age predicted maximal heart rate revisited. Journal of the American college of cardiology, 62, P 650-652, 2001.
29) **Thill E, Thomas R, Caja J,** Manuel de l'éducateur sportif, 10éme édition, Ed Vigot, 1999.
30) **Turpine B,** préparation et entraînement du football, Ed Amphora, Paris, 1996.
31) **Vandewelle H, Heller J, Péres G, Raveneau G, Monod H,** Etude comparative entre le Wingate teste et un test de force vitesse sur ergocycle, *sciences et Sports*, 1987.
32) **Véronique B,** physiologie de l'entrainement, Ed de boeck université, paris, bruxelles, 2003.
33) **Véronique B,** physiologie de l'entrainement, Ed de boeck université, paris, bruxelles, 2000.
37) **Von der Ecken J., Muller M., Lehman W., Manstein DJ., Penczek PA., Raunser S**. «Structure of the F-actin—tropomyosin complex .» Nature 033 (2014): 1-17.
34) **Weineck J,** biologie du sport, Ed Vigot, Paris, 1992
35) **Weineck J,** manuel d'entrainement, Ed Vigot, Paris, 1997.
36) **Wilmore J.H, Costil D.L,** physiologie du sport et de l'exercice, Traduction de la 3éme édition américaine par Arlet et Paul D, Carole G, Hassen Z, Ed de Boeck, Bruxelles, 2006.

38) Zeller M, Le système musculaire, université bourgogne. 2017.
https://docplayer.fr/62013789-Le-systeme-musculaire.html