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

مطبوعة دروس السنة أولى ماستر تخصص التحضير البدني الرياضي

مقياس فزيولوجيا الجهد البدني

الأستاذ : درويش محمد

فهرس المحتويات

المحور الأول الصرف الطاقوي		
الرقم		**الصفحة**
-1	قياس كمية الحرارة مباشرة (Calorimétrie directe)	**01**
-2	طريقة القياس الحراري الغير مباشر (Calorimétrie indirecte)	**02**
1-2	قياس استهلاك الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون	**03**
2-2	تحويلات هلدان (la transformation de Haldane)	**03**
3-2	الحاصل التنفسي (le quotient respiratoire)	**04**
4-2	محدودية طريقة القياس الغير مباشر (limites de la calorimétrie indirecte)	**06**
-3	الصرف الطاقوي في الراحة و عند التمرينات	**07**
1-3	العمليات الأيضية القاعدية و المستوى الأيضي في الراحة	**07**
2-3	الصرف الطاقوي للنشاطات البدنية (le cout énergétique des activités physiques	**11**
3-3	المستوى الأيضي في الراحة و عند التمرينات	**13**
-4	الاستهلاك الأقصى للأكسجين أو القدرة القصوى أثناء التمرينات الهوائية	**14**
1-4	إستهلاك الأكسجين عند التوقف من التمرينات	**15**
-5	العتبة اللبنية (les seuils lactique)	**16**
-6	العتبة الهوائية و اللاهوائية (seuil aérobie et anaérobie)	**19**
1-6	العتبة الهوائية 1((seuil ventilatoire (SV1)	**19**
2-6	العتبة الهوائية 2 ((seuil ventilatoire (SV2))	**20**
	قائمة المراجع	**20**
المحور الثاني **التعب و أسبابه (la fatigue et ses cause)**		
	مقدمة	**23**
-1	مختلف أنواع التعب (Les différentes formes de fatigue)	**23**
-2	الآليات المحيطية للتعب العضلي	**28**
1-2	العوامل الميكانيكية الكيميائية للتعب العضلي	**28**
1-1-2	الخصائص الميكانيكية (Les propriétés mécanique):	**28**
2-1-2	المزاوجة بين التحفيز –تقلص	**29**
2-2	العوامل الأيضية للتعب العضلي	**33**
1-2-2	نفاذ مخزون الجليكوجين (l'épuisement des stocks de glycogène)	**33**
2-2-2	أيونات الفوسفات اللاعضوي((les ions phosphates inorganiques (Pi	**35**
3-2-2	حمض اللبن، البروتونات و التعب (Acide lactique, protons et fatigue)	**37**
4-2-2	نفاذ مخزون الفوسفو كرياتين (l'épuisement des stocks de phosphocréatine)	**37**
5-2-2	تأثير الـATP على التعب (l'effet de l' ATP sur la fatigue)	**37**
-3	التعب المركزي(la fatigue centrale)	**40**
1-3	الفرضية الشوكية (l'hypothèse spinale)	**40**
2-3	فرضية النورادرينارجيك (l'hypothèse noradrénergique)	**40**
3-3	فرضية الدوباميناريجيك (l'hypothèse dopaminergique)	**41**
4-3	فرضية السيروتونينارجيك ((5-HT) l'hypothèse sérotoninergique)	**39**
5-3	فرضية حمض y–امينوبوتيريك (l'hypothése de l'acide y- aminobutyrique)	**43**
6-3	أيض السكريات (le métabolisme glucidique)	**46**
7-3	محتوى الأكسجين (l'apport en oxygène)	**47**
-4	النقل العصبي (La transmission nerveuse)	**47**

	قائمة المراجع	**48**
	المحور الثالث **فرط التدريب (surentrainement)**	
-1	تعريف فرط التدريب (Définition du surentraînement)	**52**
-2	تأثير فرط التدريب (Incidence du surentraînement)	**52**
-3	أسباب حدوث فرط التدريب (les causes de surentraînement)	**53**
-4	مؤشرات وعلامات حدوث فرط التدريب (Signes et symptômes du surentraînement)	**54**
-5	تصنيف فرط التدريب (Classification de surentrainement)	**56**
-6	أعراض المتعددة لفرط التدريب (Multiples symptômes):	**58**
1-6	الجوانب النفسية و السلوكية (Les aspects psycho-comportementaux)	**58**
1-1-6	المؤشرات النفسية و السلوكية (Les signes psycho-comportementaux):	**58**
2-6	العوامل المناعية والضعف ضد التسممات	**59**
3-6	العوامل اللاإرادية (Les aspects neurovégétatifs):	**59**
1-3-6	الشكل السمبثاوي (La forme sympathique)	**59**
2-3-6	الشكل البارسمبثاوي	**59**
4-6	العوامل الخاصة بالغدد الصماء (Les aspects endocriniens)	**59**
5-6	العوامل الأيضية (Les aspects métabolique)	**62**
6-6	العوامل الدموية (Les aspects hématologiques)	**64**
7-6	العوامل المتعلقة بالتغذية (les aspects nutritionnels):	**65**
-7	المعالجة\ الاسترجاع (Traitement/Récupération)	**65**
-8	الحماية (prévention)	**65**
	قائمة المراجع	**67**
	المحور الرابع **التعديل الحراري (thermorégulation de l'exercice physique)**	
-1	العوامل الفيزيائية للمبادلات الحرارية (Les moyens physique d'échange de chaleurs)	**70**
1-1	المبادلات عن طريق النقل و الحمل الحراري	**70**
2-1	المبادلات عن طريق الإشعاعات (les échange par radiation):	**70**
3-1	المبادلات عن طريق التبخر (les échange par évaporation):	**70**
4-1	4-1 الرطوبة (l'hygrométrie)	**71**
-2	مراقبة المبادلات الحرارية (contrôle des échanges de chaleur)	**72**
1-2	منطقة تحت المهاد : المعدل الحراري (L'hypothalamus : le thermostat)	**72**
2-2	المنفذات الحرارية (les effecteurs thermiques)	**74**
-3	الاستجابات الفزيولوجية أثناء التمرينات في الأجواء الحارة	**75**
1-3	وظيفة الجهاز القلبي الوعائي (La fonction cardiovasculaire)	**75**
2-3	2-3 إنتاج الطاقة (La production d'énergie)	**76**
-4	أخطار ممارسة التمرينات في الأجواء الحارة	**76**
1-4	المشاكل الحاصلة بسبب الحرارة (les problèmes liés à la chaleur)	**77**
-5	التكيف عند أداء التمرينات في الأجواء الحارة	**79**
1-5	تأثير التكيف للحرارة (effet de l'acclimatement à la chaleur)	**79**
2-5	آليات التكيف العقلاني للحرارة	**80**
-6	التمرينات في البرد (L'exercice au froid)	**82**
1-6	العوامل المؤثرة على فقدان الحرارة الجسمية	**82**
1-1-6	المرفولوجيا و الكتلة الجسمية (morphologie et composition corporelle)	**83**
2-1-6	حركة الهواء (le courant d'air)	**83**
2-6	فقدان الحرارة في الماء (Les pertes de chaleur dans l'eau)	**83**
3-6	الاستجابات الفزيولوجية أثناء التمرينات في الأجواء الباردة	**83**

1-3-6	الوظيفة العضلية (La fonction musculair)	84
2-3-6	الاستجابات الأيضية (les réponses métaboliques)	84
4-6	أخطار التمرينات في الأجواء الباردة	84
1-4-6	تأثير الجهاز القلبي الوعائي (les effets cardiorespiratoires)	84
2-4-6	التجمدات (les gelures)	84
3-4-6	معالجة انخفاض الحرارة (traitement de l'hypothermie)	85
5-6	التكيف في البرد (Acclimatation au froid)	85
	قائمة المراجع	86
	المحور الخامس **المراقبة العصبية للحركة (le contrôle nerveux du mouvement)**	
	مقدمة	88
-1	بنية ووظيفة الجهاز العصبي	88
1-1	العصبونات	88
2-1	السيالة العصبية	89
1-2-1	كمون الراحة الغشائي	89
2-2-1	زوال الاستقطاب و فرط زوال الاستقطاب	90
3-2-1	الكمون المتدرج	90
4-2-1	كمون العمل	90
5-2-1	انتشار كمون العمل	91
3-1	المشبك (la synapse)	91
4-1	الرابطة العصبية العضلية (la jonction neuromusculaire)	92
5-1	الوسائط الناقلة (les neurotransmetteurs)	92
6-1	الاستجابة البعد مشبكية (la réponse postsynaptique)	93
-2	الجهاز العصبي المركزي(le système nerveux central (SNV)	94
1-2	الدماغ (l'encéphale)	94
2-2	النخاع الشوكي (la moelle épinière)	96
-3	الجهاز العصبي المحيطي ((le système nerveux périphérique (SNP)	97
1-3	المسارات الحسية (Les voies sensitives)	98
2-3	المسارات الحركية (Les voies motrices)	99
3-3	الجهاز العصبي الذاتي (le système nerveux autonome)	99
-4	الإدماج الحسي الحركي (l'intégration sensori-motrice)	100
1-4	المعلومات الحسية (l'information sensitives	101
2-4	المراقبة الحركية (le contrôle moteur)	102
3-4	النشاط الانعكاسي (l'activité réflexe)	103
4-4	المراكز العصبية العليا (les centres nerveux supérieurs)	104
5-4	البرامج الحركية (les programmes moteurs)	104
	قائمة المراجع	105

المحور الأول:

الصرف الطاقوي (la dépense énergétique)

مقدمة :

إن عملية استخدام الطاقة في الألياف العضلية يمكن أن يقاس مباشرة، ومن جهة أخرى توجد مجموعة من الطرق المتمثلة في القياس المباشر و الغير مباشر من أجل قياس كمية الطاقة المصروفة من طرف الجسم عند الراحة و التمرينات البدنية.

1- قياس كمية الحرارة مباشرة (Calorimétrie directe):

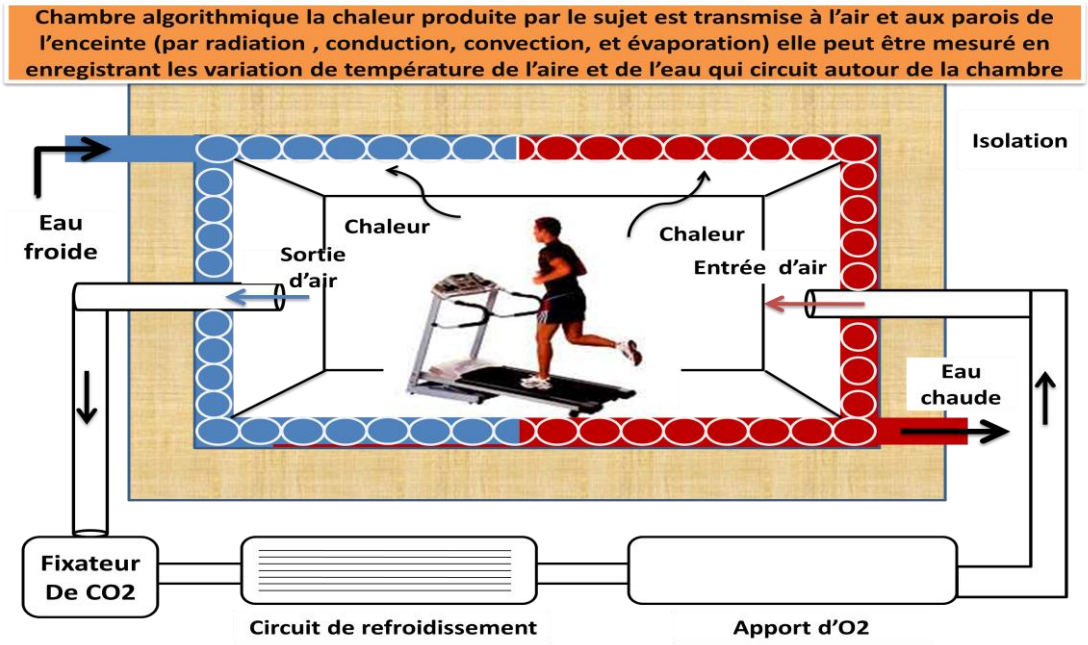
40% من الطاقة المحررة من العمليات الايضية للغلوكوز أو الدهون تستخدم من أجل إنتاج الـATP ، بينما 60% الباقية تحرر في شكل حرارة. كذلك من الممكن تحديد مستوى و كمية الطاقة المنتجة وذلك بقياس إنتاج الحرارة من طرف الجسم، هذه التقنية تسمى القياس المباشر للحرارة ، (كلوري) (cal) الوحدة القاعدية لقياس الحرارة (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 113).

عند نهاية القرن العشرين قام كل من Zuntz et hagemann (1898) بكتابة هذه الطريقة التي تستخدم المسعرية (قياس كمية الحرارة) أو غرفة حرارية باستخدام غرفة محصورة أو مسيجة محكمة عازلة، أين يتم نفخ الهواء داخل هذه الغرفة عند أداء جهد معين.

أهمية طريقة القياس الحراري مباشرة تتمثل في القياس المباشر للحرارة، و بالرغم من أن هذه التقنية تعطي القياس الدقيق للصرف الطاقوي الكلي للفرد، لكن لا يمكن متابعة التغيرات السريعة للطاقة، لذلك نجد أن طريقة القياس المباشر للحرارة تستخدم من أجل القياسات الطاقوية القاعدية أو في حالة الراحة. وهذا يجعلنا نحكم على أن هذه الطريقة لا تطبق أثناء أداء التمرينات البدنية ذات الوتيرة المتغيرة.

- الحرارة المنبعثة من طرف بعض الأجهزة أو الدراجات مثل بساط الجري تفسد القياسات.
- كل الحرارة المنبعثة من طرف الجسم لا يتم إخراجها جزء منها يخزن مما يؤدي إلى الرفع من الحرارة الجسمية.
- العرق الناتج يؤدي إلى حدوث اضطراب في القياسات و الأجهزة المستخدمة من أجل قياس الحرارة المنتجة.

- **Unité de mesure=Kilocalorie (Kcal) ou Kilojoule**
- **1Kcal :représente la quantité d'énergie qui permet l'élévation de la température de Un Kg d'eau de 01C°**
- **1Kcal=4.185KJ.**



صورة رقم (01): طريقة القياس المباشر للصرف الطاقوي عن طريق الغرفة الحرارية. الحرارة المنتجة من طرف الجسم تنقل من الهواء إلى جدار الغرفة (عن طرق الإشعاعات، الحمل ، النقل الحراري و البخار). يمكن القياس عن طريق تسجيل التغيرات في درجة حرارة الهواء و الماء الذي يدور في محيط الغرفة. هذا يعكس النشاط الأيضي للشخص (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 114).

2- طريقة القياس الحراري الغير مباشر (Calorimétrie indirecte):

العمليات الايضية للغلوكوز أو الدهون تستهلك الأكسجين و تنتج غاز ثاني أكسيد الكربون و الماء، وبالتالي من الممكن تقييم الصرف الطاقوي الحراري عن طريق القياسات التنفسية. هذه الطريقة في تقييم الصرف الطاقوي تسمى المسعرية الغير مباشرة (القياس الحراري الغير مباشر) نظرا لأن الحرارة المنتجة لا تقاس مباشرة . بل نقوم بالقياس عن طريق التعرف على مستويات كل من غاز ثاني أكسيد الكربون و الأكسجين(Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 113).

الفرق بين محتوى الغاز المستنشق والغاز المفرغ عند الزفير يحدد مستوى الأكسجين المنزوع و غاز ثاني أكسيد الكربون المنتج من طرف الجسم، الأكسجين المنزوع على مستوى الرئتين يعكس بدقة مستوى الاستخدام من طرف العضلات. بالرغم من وجود مجموعة من الطرق المتطورة و المكلفة من أجل قياس المبادلات الغازية التنفسية لكل من O2 و CO2، تبقى الطرق البسيطة و القديمة (المعالجة الكيميائية للغازات) الأكثر صحة .

Calorimétrie indirecte : mesure des échanges gazeux respiratoires

صورة رقم (02) : طريقة قياس الصرف الطاقوي الغير مباشرة عن طريق استخدام معالج الغازات .

1-2 قياس استهلاك الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون (calcule de la consommation d'oxygène et de dioxyde de carbone):

قياس حجم (VO2) و (VCO2) يتطلب التعرف على المصطلحات و القيم التالية :

- مستوى هواء الشهيق (VI)
- مستوى هواء الزفير (VE)
- نسبة الأكسجين O2 في الهواء المستنشق (FI,O2)
- نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون CO2 في الهواء المستنشق (FI,CO2)
- نسبة الأكسجين O2 في هواء الزفير (FEO2)
- نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون CO2 في هواء الزفير (FECO2)

$$VO2 = (VI \times FIO2) - (VE \times FEO2)$$

$$VCO2 = (VE \times FE\ CO2) - (VI \times FI\ CO2)$$

2-2 تحويلات هلدان (la transformation de Haldane):

خلال عدة سنوات عمل الباحثين على تبسيط حساب استهلاك O2 و إنتاج غازCO2 بعض قيم المعادلات الحسابية تعتبر معروفة و لا تتغير، نسبة الغازات الثلاثة في الهواء المتنفس محددة بدقة وهي (N2) 20,93% d'O2, 0,04% CO2, 79,03% (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 114) .

- حجم الهواء المستنشق (VI) يساوي حجم هواء الزفير (VE) في حالة ما إذا كان حجم VO2 يطابق و يساوي حجم VCO2 .
- في حالة ما إذا كان حجم VO2 أكبر من حجم VCO2 حجم هواء الشهيق VI أكبر من حجم هواء الزفير VE و العكس صحيح.
- الغاز الوحيد الذي يبقى ثابت هو حجم الازوت المستنشق (VIN2) في الدقيقة حيث يساوي دائما حجم الازوت عند الزفير في الدقيقة (VEN2).

VIN2 = VI x FIN2 et VEN2= VE x FEN2

- من الممكن قياس VI باستخدام المعادلة التالية التي تسمى transformation de Haldane
- VI x FIN2 = VE x FEN2(1) هذه المعادلة يمكن إعادة كتابتها بالطريقة التالية:
- VI = (VE x FEN2)/ FIN2 (2)

كذلك عند القيام بإدماج المعادلة 2 في معادلة قياس VO2

- VO2= (VI x FIO2) – (VE x FEO2)

نجد المعادلة التالية : $VO_2 = [(V_E \times F_E N_2)/ F_I N_2 \times F_I O_2)) - (V_E \times F_E O_2)]$

بوضع القيم المعروفة لـ FIO2 (0,2093) و قيمة FIN2 (0,7903) نصل إلى المعادلة التالية :

$$VO_2 = [(V_E \times F_E N_2)/ 0{,}7903) \times 0{,}2093) - (V_E \times F_E O_2)]$$

بإدماج المعادلات الثلاثة نصل إلى الصيغة الأكثر تبسيطا :

$$VO_2 = (V_E) \times \left[[(1 - (F_E O_2 + F_E CO_2)) \times (0{,}265)] - (F_E O_2)\right]$$

3-2 الحاصل التنفسي (le quotient respiratoire):

من أجل تقييم الصرف الطاقوي الكلي من المهم جدا معرفة نوع المواد الغذائية (سكر، دهون أو بروتين) المؤكسدة، طريقة القياس الغير مباشر تسمح بمعرفة كمية CO2 الخارج و كمية (VCO2) المستهلك. الفرق بين القيمتين يسمى الحاصل التنفسي (quotient respiratoire ou QR) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 116).

الغلوكوز (C6H12O6) يتكون من 6 جزيئات من الكربون. أثناء عملية الحرق ، 6 جزيئات من الاكسجين تستخدم و ينتج 6 جزيئات من CO2، و 6 جزيئات ماء H2O و 38 ATP

$$6O_2 + C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38\ ATP$$

QR= VCO2/VO2= 6CO2/6O2 = 1

الأحماض الذهنية الحرة تحتوي على جزيئات أكثر لكل من الكربون و الهيدروجين، و على كميات أقل من الأكسجين مقارنة بالغلوكوز. مثل نأخذ حمص البالميتيك $C_{16}H_{32}O_2$ من أجل أكسدته كليا إلى جزيئة CO2 و H_2O يجب أن يتوفر 23 جزيئة من O_2

$$16C + 16O_2 \longrightarrow 16CO2$$

$$32\ H + 8\ O_2 \longrightarrow 16\ H_2O$$

Totale 24 O_2 consommée

جزيئة واحدة من O_2 تستخدم من طرف حمض البالميتيك بينما 23 جزيئة من O_2 تستخدم وفق المعادلة التالية:

$$C16H32O_2 + 23\ O_2 \longrightarrow 16CO_2 + 16H_2O + 129\ ATP$$

QR= VCO2/VO2= 16/23= 0, 70

قياس الحاصل التنفسي لعدة عائلات يوضح وجود علاقة إرتباطية بين نوع الألياف العضلية و الحاصل التنفسي، حيث أن الحاصل التنفسي المنخفض يدل على أكسدة نسبة كبيرة من الدهون لذلك نجد هؤلاء الأشخاص يتمتعون بأوزان منخفضة، مقارنة بالأشخاص الذين لديهم حاصل تنفسي مرتفع ، حيث أنه كلما كان عدد الألياف العضلية الحمراء أكثر كلما كانت مستويات أكسدة الدهون مرتفعة ، مع انخفاض في عدد الخلايا الذهنية، بينما ارتفاع عدد الألياف العضلية السريعة البيضاء في الجسم يزيد من نسبة الحاصل التنفسي و بالتالي أكسدة أكثر للسكريات و هذا يجعل هؤلاء الأشخاص أكثر عرضة للسمنة .

جدول رقم (01): معادلة السعرات الحرارية للحاصل التنفسي (QR) و نسبة الحريرات (كيلوكلوري) من الكربوهيدرات (CHO) و الليبدات . (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 116).

Equivalence calorique du quotient respiratoire (QR) et % Kcal issu de CHO et des lipides

Energie			% Kcal
QR	Kcal/LO2	Glucides	Lipides
0,71	4,69	0	100
0,75	4,74	15,6	84,4
0,80	4,80	33,4	66,6
0,85	4,86	50,7	49,3
0,90	4,92	67,5	32,5
0,95	4,99	84,0	16,0
1,00	5,05	100	0

4-2 محدودية طريقة القياس الغير مباشر (limites de la calorimétrie indirecte) : (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 117)

- طرح غاز CO2 يكون أقل ثباتا، محتوى الجسم من CO2 يكون معتبر ويمكن أن يتغير ببساطة بعد فرط في التهوية أو عند إنجاز تمرين بشدة عالية.
- كمية CO2 المطروح من طرف الرئتين قد لا يمثل بدقة مستوى الإنتاج من طرف الأنسجة .
- استخدام هذه الطريقة من أجل تحديد طبيعة المواد الطاقوية المستخدمة تعتبر صحيحة عند الراحة أو أثناء التمرينات ذات الوتيرة الثابتة أو المستقرة.
- عند استخدام الحاصل التنفسي QR ، نشير إلى أن البروتينات لا تأكسد كليا من طرف الجسم وهذا راجع لأن الأزوت لا يؤكسد. و بالتالي من غير الممكن عن طريق QR أن نتعرف على نسبة مساهمة البروتينات في إنتاج الطاقة، لذلك يتم تسمية QR في بعض الحالات QR non protéique بكل بساطة يتم إهمال أكسدة البروتينات.
- استخدام QR يمكن أن يبرر عند التمرينات ذات المدة المحدودة حيث تكون مساهمة البروتينات في إنتاج الطاقة محدود وضعيف، عند التمرينات المطولة لعدة ساعات يمكن أن تسهم البروتينات بأكثر من 10% من الطاقة الكلية المستخدمة.
- في الراحة يستخدم الجسم المواد الطاقوية بطريقة منتظمة، حيث تكون قيم QR حسب الخليط المستعمل بين 0,78 و 0,80. عند التمرينات العالية الشدة تستخدم العضلات السكريات حيث

يرتفع QR، و تكون نسبة المساهمة حسب شدة التمرينات، كلما استخدمنا السكريات كلما اقترب QR من 1.

- أثناء التمرينات العالية الشدة نسجل غالبا قيم QR أكثر من 1، وهذا يشير إلى أن الجسم يطرح كميات معتبرة من CO_2 المنتج في العضلات، في هذه الحالة يعمل الجسم على الحد من درجة الحمضية في الوسط وهذا بسبب تراكم حمض اللبن، بإخراج أكثر لغاز CO_2، التراكم الكبير لأيونات H^+ في الدم يؤدي إلى تحول حمض الكربونيك إلى غاز CO_2. وبالتالي التراكم الكبير لغاز CO_2 يتم حمله إلى الرئتين أين يتم التخلص منه، لذلك نسجل قيم QR أكثر من 1. و هذا لا يسمح بتحديد دقيق لنوع المادة المستخدمة من طرف العضلات.
- بالرغم من النقص لطريقة القياس الغير مباشر إلا أنها تعتبر الأحسن من أجل تقييم الصرف الطاقوي عند الراحة أو التمرينات التحت قصوى.

3-الصرف الطاقوي في الراحة و عند التمرينات (la dépense énergétique au repos et à l'exercice):

باستخدام مختلف التقنيات من الممكن أن نقيس الطاقة المستهلكة لدى الأشخاص في الراحة وعند التمرينات.

1-3 العمليات الأيضية القاعدية و المستوى الأيضي في الراحة (le métabolisme de base et le débit métabolique au repos):

سرعة الجسم في استخدام الطاقة ترجع إلى المستوى الأيضي. في الراحة يستهلك الشخص حوالي 0,3 $LO_2.Min^{-1}$ و هذا ما يعادل 18 ل\سا أو 432ل\يوم . حيث أن 1 كيلوكلوري = 4,184 كيلوجول .

في الراحة يحرق الجسم السكريات و الدهون قيمة QR 0,8 في الراحة ، هذه القيمة تكون شائعة لدى أغلب الأشخاص الذين لديهم تنوع في الأخذ الغذائي، من الممكن أن يتم حساب الصرف الحريري للشخص بالطريقة التالية (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 118) :

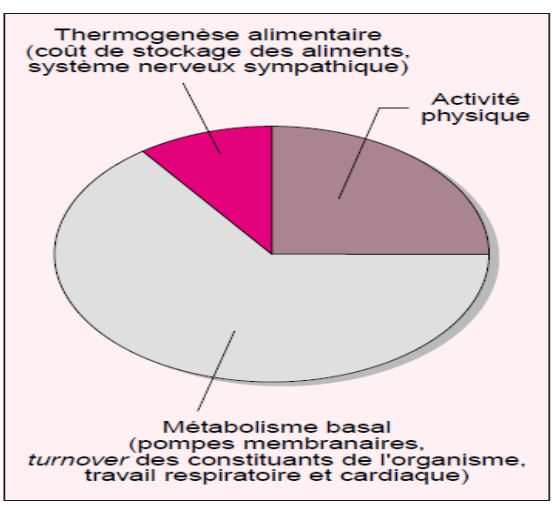
Kcal/j= litres d'O2 consommés par jour X Kcal utilisé par litre d'O2= (432 L^{-1} O_2/j) x(4,80 Kcal/ L^{-1} O_2) = 2073,6 Kca/j

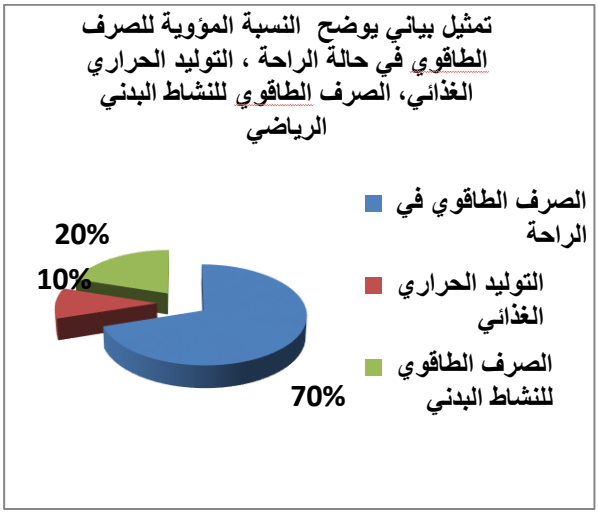
حيث أن استهلاك 1 لتر من الأكسجين = صرف طاقوي قدره 4,80 كيلوكلوري.

العمليات الأيضية للراحة تستهلك حوالي 60 إلى 70% من الصرف الطاقوي الكلي، وهي تكلفة الطاقة الكلية للحفاظ على الجسم . التوليد الحراري الغذائي يمثل 10% من الصرف الكلي و هو يمثل تكلفة تخزين المواد الغذائية، و أخيرا الصرف الطاقوي المرتبط بالنشاط البدني الرياضي و الذي

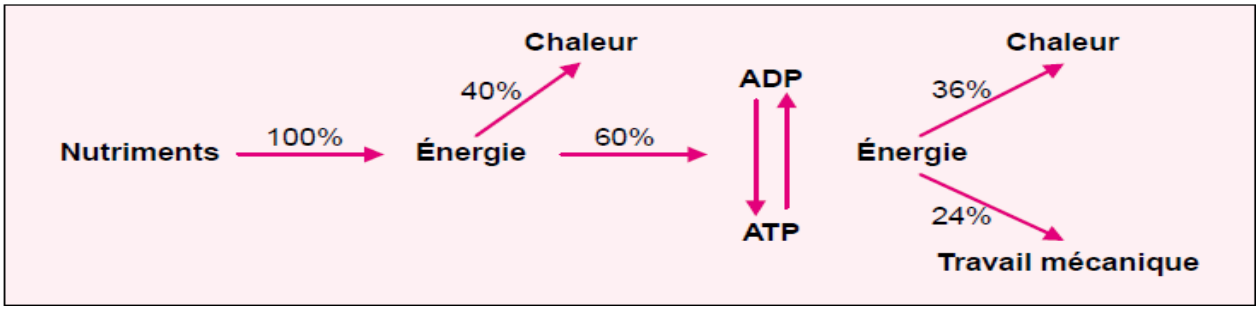
يمثل حوالي 20% من الصرف الطاقوي الكلي لدى الشخص العادي . (Tappy L, Guenat E, 2000, P 1063) .

المواد الغذائية المتناولة يجب أن تحول إلى مواد بسيطة ثم تخزن مثلا على مستوى الكبد أو العضلات على شكل جليكوجين، أو على مستوى النسيج الذهني على شكل ثلاثي الغليسريد، جميع هذه الآليات تستهلك طاقة. و يختلف هذا الاستهلاك حسب المسار البيوكيميائي، تشير التقديرات إلى أن هذه التكلفة تمثل حوالي 5 ٪ إلى 10 ٪ من السعرات الحرارية في شكل الكربوهيدرات، 20 ٪ إلى 30 ٪ للبروتينات ، وأقل من 5٪ دهون. (Tappy L, Guenat E, 2000, P 1063) .





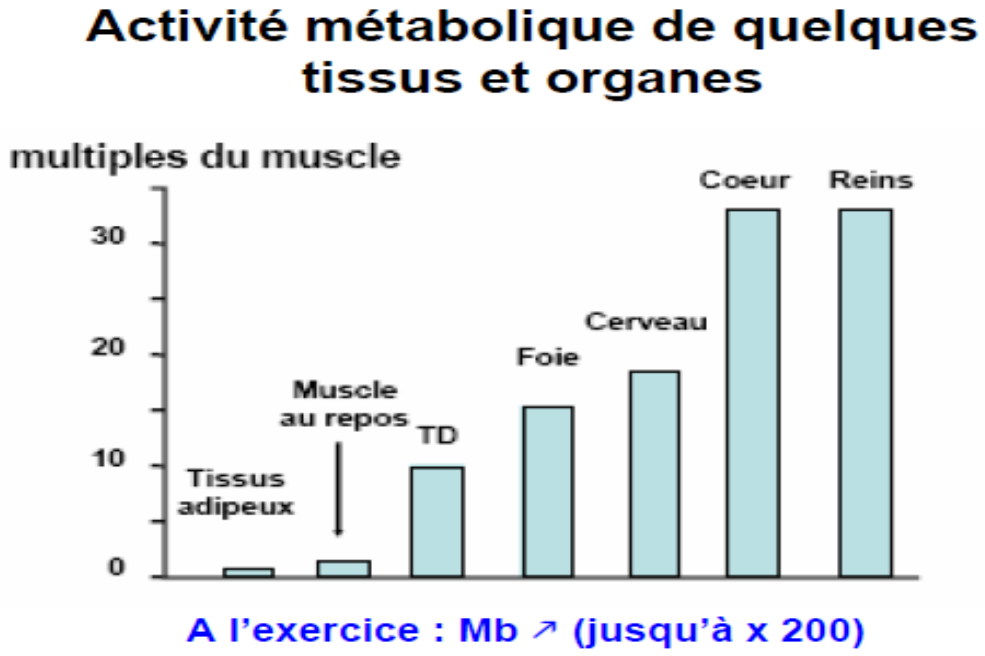
صورة رقم (03) : مكونات الصرف الطاقوي خلال 24 ساعة (شخص عادي). الأغلبية (60 إلى 70% من الصرف الطاقوي الكلي يتمثل في العمل الأيضي القاعدي . 20 إلى 30% من الصرف يمثل النشاط البدني لدى الشخص العادي (Tappy L, Guenat E, 2000, P 1066) .



صورة رقم (04): مخطط يوضح المردود الطاقوي للتقلص العضلي. 40% من الطاقة الموجودة في المواد الغذائية تفقد في شكل حرارة أثناء تصنيع الـATP . أثناء التقلص العضلي 60% من الطاقة الموجودة في الـATP تفقد في شكل حرارة. المردود الطاقوي الإجمالي للتقلص العضلي يصل حوالي 24% .(Tappy L, Guenat E, 2000, P1065)

جدول رقم (02):العوامل الأساسية التي تؤثر على مستويات الصرف الطاقوي للإنسان (Jéquier E, 1980, P33).

	العوامل الداخلية	العوامل الخارجية
العمليات الايضية القاعدية التوليد الحراري النشاط البدني	❑ الكتلة الغير ذهنية ❑ العمر، الجنس . ❑ هرمونات الغذة الدرقية. ➢ الحالة الغذائية . ➢ نشاط الجهاز العصبي السمبثاوي ➢ النسيج الذهني البني ✓ الكتلة العضلية . ✓ الأداء العضلي . ✓ الحجم الأقصى للأكسجين	▪ الأخذ الغذائي ▪ ابتلاع المواد الحرارية، التوتر، التوضع في البرد. ▪ مدة وشدة التمرينات العضلية .



صورة رقم (05): النشاط الأيضي لبعض الأنسجة و الأعضاء (Pérès G, 2005).

القياس العادي للصرف الطاقوي في الراحة ، يتمثل في العمل الأيضي القاعدي (MB) و المستوى الأيضي للشخص في الراحة في وضعية الاستلقاء تم قياسه بعد 8 ساعات من النوم على الأقل 12 ساعة على معدة فارغة، هذه القيمة تمثل الكمية الدنيا للطاقة اللازمة من أجل الضمان الأساسي للوظائف الحيوية للجسم . النشاط الأيضي القاعدي له علاقة مباشرة مع الكتلة الغير ذهنية (la masse maigre) حيث عامة نربط عدد الحريرات (كيلو كلوري) على كلغ من الكتلة الغير ذهنية على الدقيقة (كيلو كلوري\كلغ\د)، كلما كانت الكتلة النحيفة مهمة كلما كان عدد الحريرات المستهلكة في اليوم أكثر إرتفاعا (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 118).

المساحة الكلية للجسم (la surface corporelle) تعتبر أيضا مهمة و يجب أن تأخذ بعين الاعتبار، حيث أنه كلما كانت المساحة الجسمية كبيرة كلما كان فقدان الحرارة عن طريق البشرة مرتفع. و هذا يرفع من المستوى الأيضي القاعدي، لذلك يتم تمثيل العمل الأيضي القاعدي MB بالكيلو كلوري على المتر مربع (كيلو كلوري\م2).

العمل الايضي القاعدي لدى النساء أقل بحوالي 5 إلى 10% من الرجال هذا راجع إلى أن النساء لديهم كتلة ذهنية معتبرة مقارنة بالرجال، حيث أن النسيج الذهني أقل نشاطا من النسيج العضلي. الاختلافات في الكتلة الجسمية عند البلوغ من بينها انخفاض الكتلة الغير ذهنية، وزيادة الكتلة الذهنية يفسر انخفاض العمل القاعدي الايضي بنسبة 2 إلى 3% مقارنة بين الجنسين.

عدة عوامل أخرى يمكن أن تؤثر على مستوى العمل الأيضي القاعدي من بينها نشير إلى (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 118):

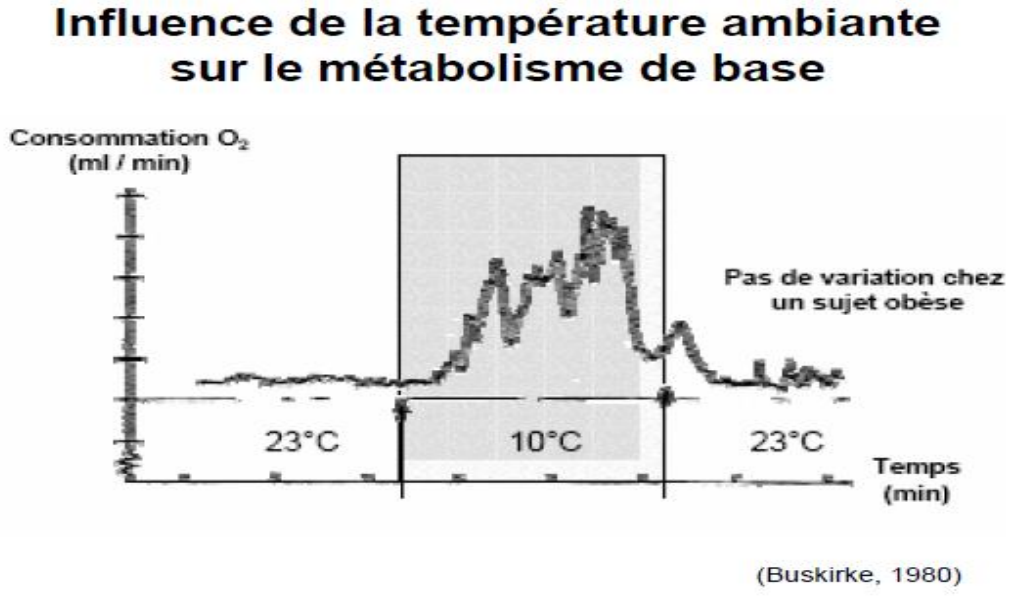
- العمر : ينخفض العمل الأيضي القاعدي بانتظام مع العمر .
- الحرارة الجسمية: العمل الأيضي القاعدي يرتفع مع زيادة الحرارة الجسمية.
- القلق و الاضطرابات الجسمية النفسية: حيث يرفع القلق من نشاط الجهاز العصبي السمبثاوي و هذا يزيد من العمل الأيضي القاعدي.
- الهرمونات : مثل الثيروكسين المفرز من طرف الغذة الدرقية و الادرينالين المفرز من طرف لب الغدة الكظرية وهذا يرفع من العمل الايضي القاعدي.
- يمكن أن يتغير المستوى الأيضي القاعدي من 1200 إلى 2400 كيلو كلوري في اليوم حيث أن الصرف الطاقوي المتوسط للشخص العادي مع نشاط يومي عادي يكون بين 1800 إلى 3000 كيلو كلوري.

2-3 الصرف الطاقوي للنشاطات البدنية (le cout énergétique des activités physiques):

الصرف الطاقوي للنشاطات البدنية يتغير حسب نوع الشدة و التمرينات المنجزة. حيث يقيم بالتعرف أو تحديد استهلاك الأكسجين المتوسط أثناء النشاط، وتترجم كمية الطاقة المصروفة بالكيلو كلوري على الدقيقة (Kcal/min).

الشخص الذي يتمتع ببنية جسمية متوسطة يحتاج من 0,16 إلى 0,35 ل من الأكسجين في الدقيقة من أجل تحقيق الاكتفاء من الاحتياجات الطاقوية في الراحة، وهذا يعادل حوالي 0,8 إلى 1,75 كيلوكلوري\د، أي حوالي 48 إلى 105 كيلو كلوري\سا، أو 1152 إلى 2520 كيلوكلوري\يوم. كل نشاط بدني يتطلب استهلاك للطاقة إضافي و هذا راجع لمجموعة من العوامل من بينها:

- مستوى النشاط (ويعتبر العامل الأكثر أهمية).
- العمر، الجنس، الطول.
- الوزن.
- الكتلة الجسمية .
- شدة التمرينات.
- مدة الجهد .



صورة رقم (06): تأثير درجة الحرارة الجوية على العمل الأيضي القاعدي (Pérés G, 2005).

ماهو متعارف عليه منذ مدة طويلة هو أن الصرف الطاقوي يتناسب طرديا مع الوزن، كذلك مجموعة من المعادلات الحسابية وضعت من أجل قياس الصرف الطاقوي في الراحة عن طريق وزن الجسم، لكن بالنسبة للأعمال التي قام بها Ravussin، استعمال الكتلة الغير ذهنية أو الكتلة الجسمية يحدد الصرف الطاقوي بطريقة أكثر دقة مقارنة بوزن الجسم . أغلب العمليات الحسابية تسمح بقياس مستوى العمليات الأيضية القاعدية أو الصرف الطاقوي الكلي عن طريق الوزن. حيث أنه لا يوجد إلى حد الآن معادلة حسابية مقنعة تسمح بقياس العمليات الأيضية القاعدية عن طريق الكتلة الغير ذهنية .(collège des enseignants de nutrition, P 05, 210-2011)

Equations de Harris et Benedict :

Hommes:

DER = 66.473 + (13.7516 x P) + (5.0033 x T) – (6.755 x A)

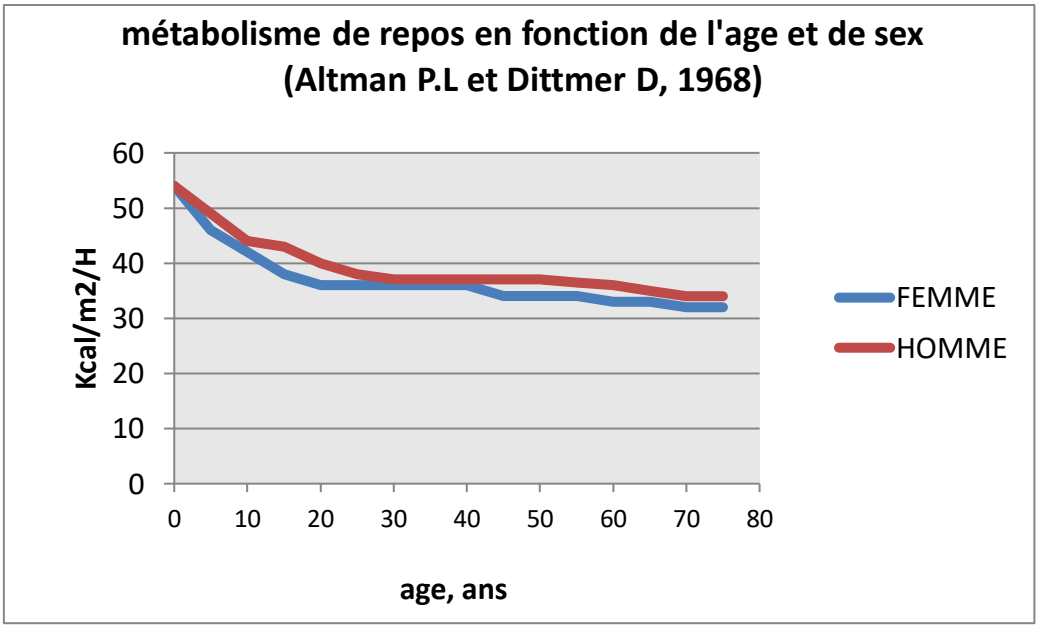
Femmes :

DER = 655.0955 + (9.5634 x P) + (1.8496 x T) – (4.6756 x A)

P = poids en kilogramme, T = taille en centimètre et A = âge en année

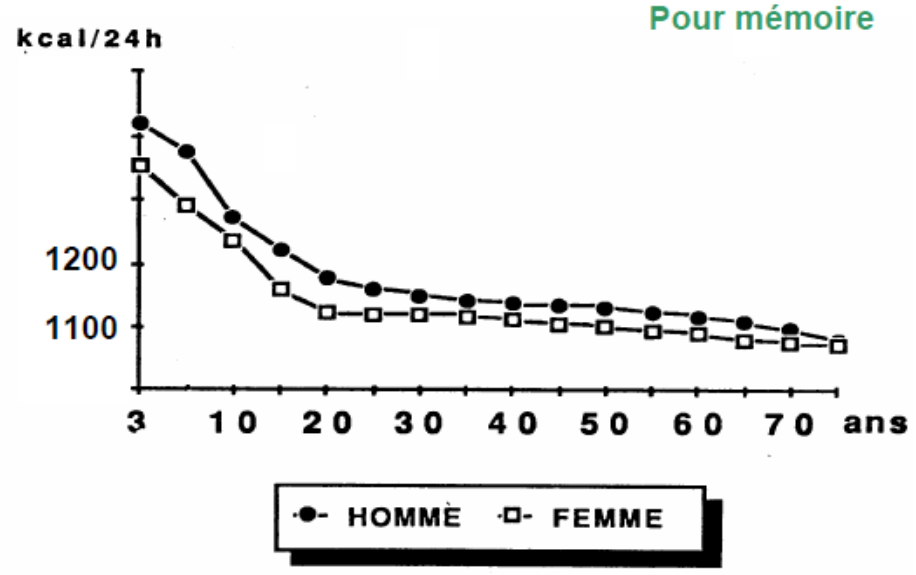
La DER est calculée en kcal/j

Anne-Julie Vial, (2013)



صورة رقم (07): العمل الأيضي في الراحة حسب العمر و الجنس (Altman P L, Dittmer D, 1968 , P274).

Pour mémoire



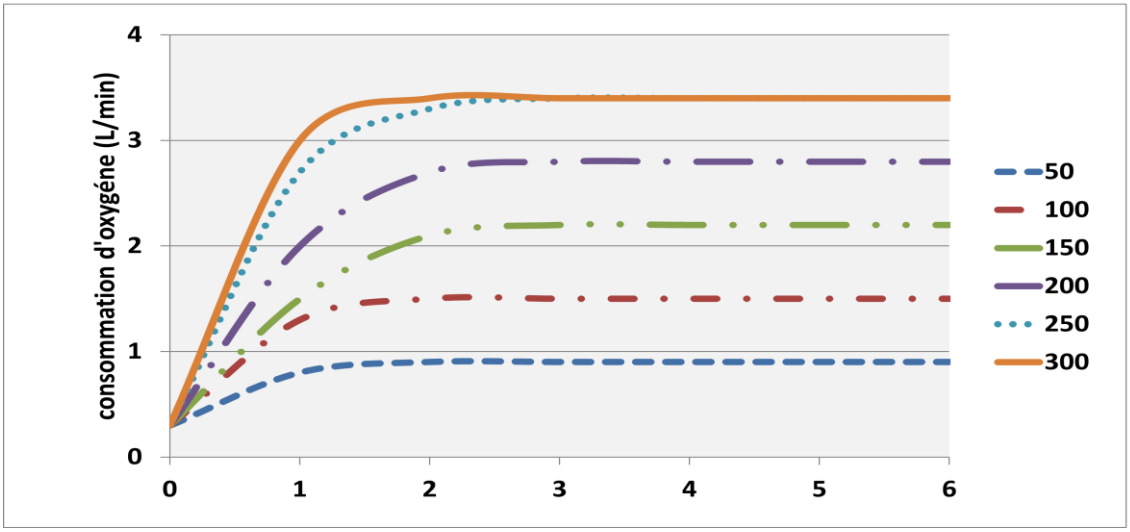
■ DER en fonction de l'âge et du sexe

صورة رقم (08) : الصرف الطاقوي في الراحة حسب الجنس (Pérés G, 2005).

3-3 المستوى الأيضي في الراحة و عند التمرينات (le débit métabolique au repos et a l'exercice):

كل تمرين منجز ينتج عنه زيادة في الاحتياجات الطاقوية، العمل الأيضي يرتفع بتناسب مع شدة الجهد البدني، على دراجة إرجومترية يقوم شخص بالتدوير لمدة 5 دقائق ، عند شدة قدرها 50 واط (W) استهلاك الأكسجين يرتفع ليصل إلى مستوى التوازن خلال 1 إلى 2 دقيقة (Steady state) . نفس حالة التوازن الحاصلة عند شدة 100 واط خلال 5 دقائق عند 1 إلى 2 د، عند تكرار نفس التمرين بشدة 150 واط، 200واط، 250واط، 300 واط نصل إلى حالة توازن جديدة. حيث نسجل ارتفاع خطي في حجم الأكسجين المستهلك مع شدة التمرين إلى (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 119).

Augmentation de la consommation d'oxygène telle quelle a été initialement proposée par astrand et Rodahl (1986)



صورة رقم (09): زيادة استهلاك الأكسجين مثل ما أقترح في الأصل من طرف (Astrand et Rodahl (1986.

4- الاستهلاك الأقصى للأكسجين أو القدرة القصوى أثناء التمرينات الهوائية (la consommation maximale d'O2 ou capacité maximale lors de l'exercice aérobie):

قيمة حجم الأكسجين الواصل إليها عند شدة 250 واط و 300 واط تعتبر نفسها . و هذا يشير إلى أن الشخص يصل عند 250 واط إلى الحد الاقصى و لا تكون زيادة أخرى في حجم الأكسجين المستهلك، إستهلاك الأكسجين يصل إلى أقصاه و يبقى ثابت حتى عند مواصلة زيادة شدة التمرين. هذه القيمة القصوى تحدد الإمكانية القصوى الهوائية ، و هذا ما يسمى بالإستهلاك الأقصى للأكسجين أو VO**2**max حيث يعتبر كأحسن قياس بسيط للمداومة القلبية التنفسية و العمل الهوائي (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 120).

أغلب العدائين يمكن أن ينجزون مراطون 42 كلم عند سرعة متوسطة تمثل 75 إلى 80% من قيمة VO**2**max، آخذين بعين الاعتبار لحالة (d'alberto salazar)، في حالات التفوق الرياضي و القريب من الرقم القياسي خلال مراطون، الحجم الأقصى للأكسجين المستهلك وصل إلى 70 مل\كلغ\د.

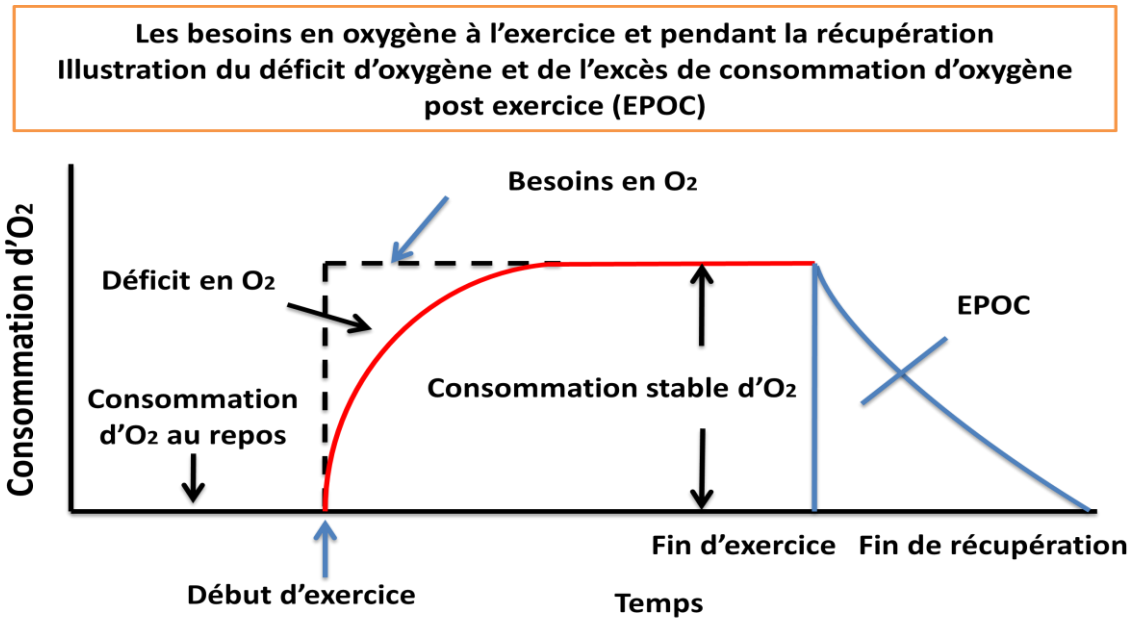
الأشخاص البالغين من 18 إلى 22 سنة لديهم قيم لـ VO**2**max حوالي 38 إلى 40 مل\كلغ\د، لدى النساء بينما لدى الرجال قيمة VO**2**max تصل من 44 إلى 50 مل\كلغ\د، بعد 25 إلى 30 سنة قيم VO**2**max لدى الأشخاص الغير نشطين تنخفض هذه القيمة حوالي 1% في السنة، وهذا تحت تأثير العمر و الشيخوخة، النساء البالغات لديهم قيم عامة لـ VO**2**max أقل من الجنس الذكري نظرا لأن الكتلة الغير دهنية تكون ضعيفة لدى النساء و محتوى الهيموغلوبين يكون أقل (و هذا يخفض من قدرة نقل الأكسجين) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 121).

1-4 إستهلاك الأكسجين عند التوقف من التمرينات (la consommation d'oxygène a l'arrêt de l'exercice):

يسجل الجسم نقص أو عجز في الأكسجين، حتى عند أداء تمرينات بشدة ضعيفة. النقص في الأكسجين يحسب عن طريق الفرق بين مستوى الأكسجين الواصل إليه عند تمرين بشدة معينة (Steady-state) و كمية الأكسجين المستهلكة عند شدة معينة، بالرغم من نقص نسبة الأكسجين، تعمل العضلات على إنتاج كمية ATP اللازمة للعمل العضلي عن طريق الآلية اللاهوائية.

خلال الدقائق الأولى من الاسترجاع، حتى مع توقف نشاط العضلات، الطلب على الأكسجين لا ينخفض على العكس نسبة الاستهلاك تبقى مرتفعة لمدة معينة، بطريقة أخرى نستطيع القول أن هذا الاستهلاك يعتبر ضروري من أجل حالة الراحة، حيث يعتبر دين أكسجيني (نقص في الاكسجين) ، المصطلح الحقيقي الأكثر استخداما هو استهلاك الاكسجين بعد التمرين فرط استهلاك الأكسجين بعد التمرين (Excess post exercise oxygen consumation); وهذا يمثل الكمية الأكثر استهلاكا للأكسجين أثناء الراحة . خلال عدة سنوات كان يعتبر أن مخطط أو منحنى EPOC يحتوي على جزئين ملاحظين، وهي الجزء الاولي السريع و الجزء الثاني البطئ، حسب النظرية الكلاسيكية الجزأ السريع من المنحنى يمثل إحتياج الأكسجين اللازم من أجل إسترجاع الATP و الفوسفو كرياتين المستخدم أثناء التمرين، حيث أن روابط الفوسفات الغنية بالطاقة تهدم من أجل توفير الطاقة اللازمة، أثناء الراحة هذه الروابط يجب أن يتم إعادة تصنيعها عن طريق الآليات الهوائية من أجل استرجاع المخزون الطاقوي أو تسديد الدين الأكسجيني (EPOC= excès de consommation d' oxygène post-exercice، Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 122).

الجزء البطئ من المنحنى يمثل استهلاك الأكسجين اللازم من أجل تحول اللاكتات المتراكم في الأنسجة إلى جليكوجين أو إلى غاز CO2 et H2O، الطاقة المحررة أيضا بسبب الأكسدة تسمح بإعادة تصنيع مخزون الجليكوجين.

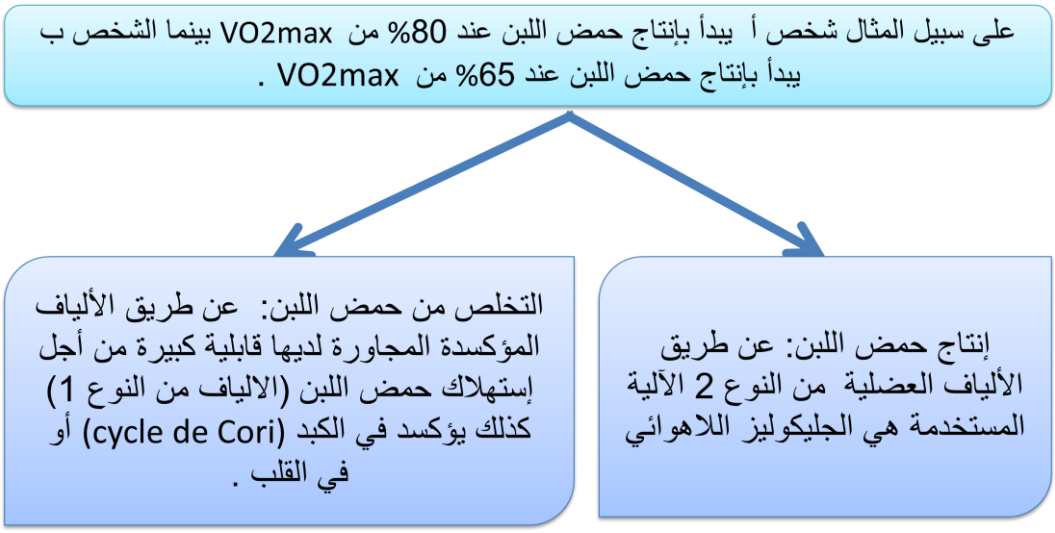


صورة رقم (10): متطلبات الأكسجين أثناء التمرين و الراحة ، رسم توضيحي للعجز في الأكسجين و فرط استهلاك الأكسجين بعد التمرين (EPOC) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 121).

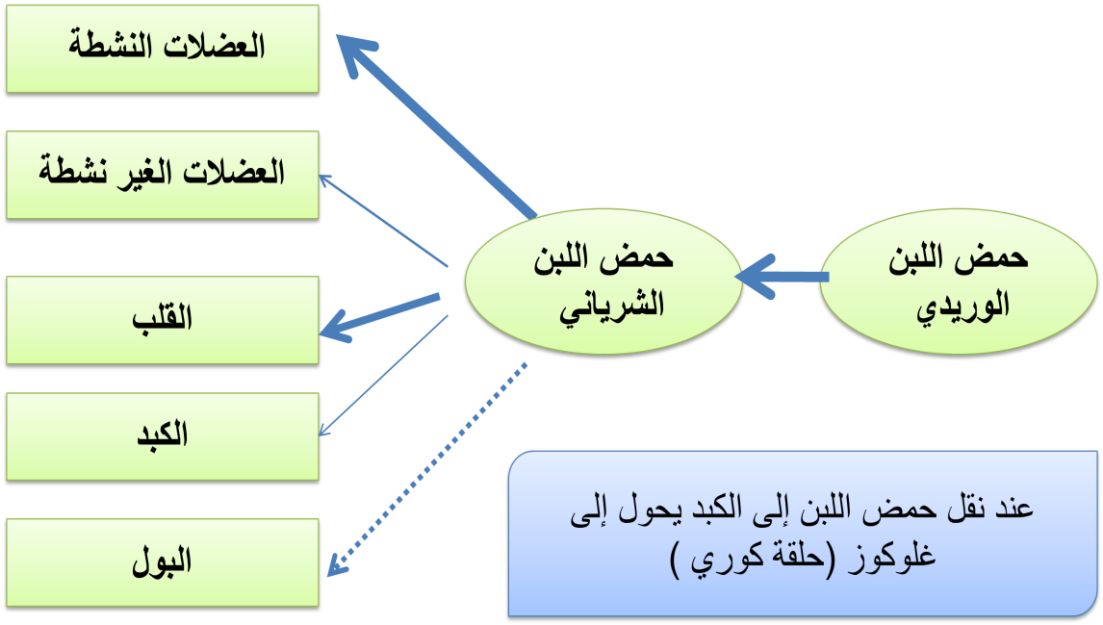
دراسات أخرى أكثر حداثة تشير إلى أن التفسير الكلاسيكي لفرط استخدام الأكسجين بعد التمرين (EPOC) غير كامل. حيث من المحتمل أن الأكسجين المستهلك أثناء الراحة يساهم في إعادة استرجاع مخزون الأكسجين (المثبت على الهيموغلوبين و الميوقلوبين) الذي يستخدم عند بداية التمرينات.

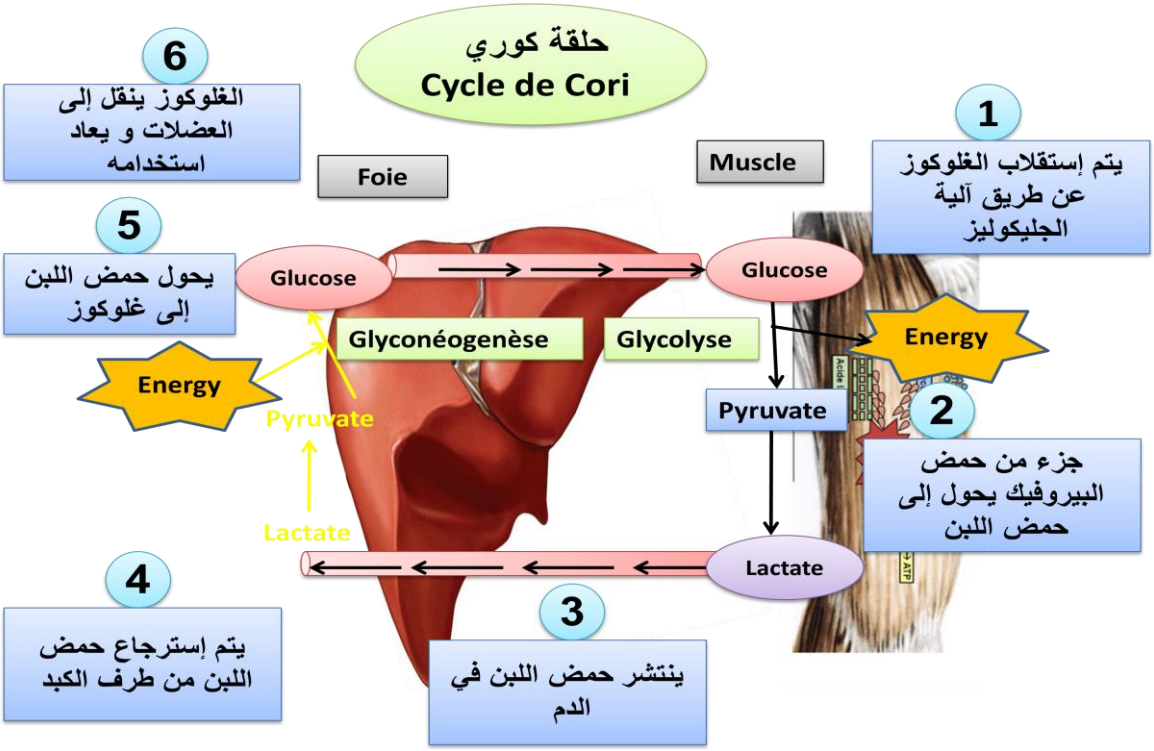
5- العتبة اللبنية (les seuils lactique):

مجموعة من الباحثين يعتبرون أن العتبة اللبنية يمكن أن تعتبر كمؤشر جيد للعمل الهوائي أو التحمل، حيث تمثل العتبة اللبنية بتغيرين في منحنى اللاكتات أثناء عمل أقصى بحمولة متصاعدة تنجز في المخبر. تحديد العتبة اللبنية يتطلب أخذ قطرة من دم الشعيرات الشريانية عامة تأخذ من الأصابع عند نهاية كل مرحلة، حيث يوجد عتبتين لبنيتين و هما العتبة اللبنية 1 و العتبة اللبنية 2 .العتبة اللبنية تمثل الانتقال من الأجهزة الأيضية الهوائية إلى اللاهوائية ، و هو مستوى نشاط بيوكيميائي أين يكون إنتاج حمض اللبن من طرف الخلايا العضلية أكبر من قدرة الجسم على التخلص منه. مصطلح آخر العتبة اللبنية تمثل الوقت الذي يتراكم فيه حمض اللبن في الجسم و لا يتم التخلص منه بسرعة. يعبر عنه عند نسبة من %VO2max. أي بمعنى الانتقال نحو الجهاز اللاهوائي اللبني أو الجهاز الجليكوليكي(Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 122).



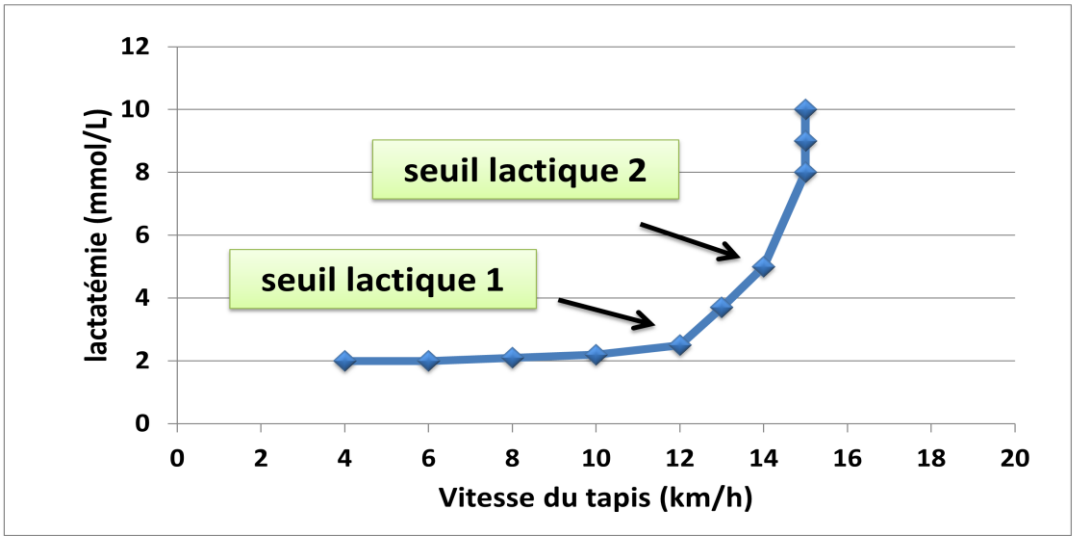
يمكن أن يستخدم حمض اللبن في العضلات النشطة أين يتم إنتاجه ، كما يمكن أن يتم نقله إلى العضلات الأخرى أين يتأكسد :





صورة رقم (11): حلقة كوري (عملية استحداث السكر، تحول حمض اللبن إلى غلوكوز، gluconéogenèse)

Relation entre l'intensité d'exercice (vitesse de course et la concentration de lactate sanguin)



صورة رقم (12): العلاقة بين شدة التمرين (سرعة الجري و تركيز حمض اللبن) عينات من الدم تم أخذها من الوريد للذراع . حمض اللبن تم قياسه عند كل سرعة جري محافظ عليها لمدة 5 دقائق .(Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 122)

النقطة الأولى من انحراف المنحنى تمثل العتبة اللبنية 1 (SL1)، وهي شدة التمرين التي تعبر عن زيادة تركيز اللاكتات عن قيمة الراحة. حيث تعتبر هذه المرحلة كمؤشر جيد للتحمل الهوائي الذي له علاقة مع العتبة الهوائية الاولية. كما أن نقطة التغير في المنحنى لا تكون ملاحظة دائما، حيث يختار الباحثين تركيز معين للاكتات في الدم الذي يقدر بـ 2 ملي مول\ل من أجل التحديد، كما تبقى هذه القيمة محل جدال دائم. العتبة اللبنية 1 تتواجد بين 50 إلى 60% من VO2max لدى الأشخاص العاديين، مع التدريب الهوائي في المستوى العالي العتبة اللبنية 1 تتغير لتصل من (70 إلى 80%) من VO2max (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 122).

6- العتبة الهوائية و اللاهوائية (seuil aérobie et anaérobie) :

العتبة الهوائية هي السرعة أو القدرة في اللحظة التي يزيد فيها لاكتات الدم فوق قيمة الراحة . يشار إلى العتبة الهوائية عند بداية إنتاج حمض اللبن . العتبة الهوائية 1 تبدأ بالظهور عندما تؤدي شدة الجهد البدني إلى زيادة غير خطية في المستوى التنفسي (débit ventilatoire, VE) ، مستوى غاز ثاني أكسيد الكربون (VCO2)، زيادة و ارتفاع في مستوى التهوية الرئوية و حجم الأكسجين VE/VO2 (débit d'oxygéne) بينما يكون هناك مستوى ثابت في حجم ثاني أكسيد الكربون عند التهوية الرئوية VE/CO2. يحدث ذلك بسبب استجابة المراكز التنفسية لهدف التخلص من أيونات +H الناتجة ، استجابة لشدة الجهد البدني عن طريق أيونات البيكربونات وهذا يعتبر التحول الأول في إنتاج حمض اللبن ما يسمى بالعتبة اللبنية 1 المحدد عند 2 ملي مول\ل .

العتبة اللاهوائية تمثل السرعة أو القدرة المرتبطة بتركيز 4 ملي مول\ل لحمض اللبن. وهي تمثل ايضا عتبة تراكم حمض اللبن في الدم (SL2) كتسمية جديدة (Vallier et al., 2000) . مصطلح العتبة اللاهوائية يعتبر الأول المستخدم من أجل كتابة نقطة الإنقطاع بين العمل الأيضي الهوائي و اللاهوائي (Wasserman et (McIlroy, 1964). العتبة اللاهوائية تعتبر النقطة الفزيولوجية أثناء الجهد البدني اين يكون إنتاج حمض اللبن العضلي أكبر من القدرة على التخلص منه .

حسب بعض الباحثين العتبة اللبنية تتواجد عند 2 ملي مول\ل (Simonton et al., 1988, Wasserman et al 1973, Orr et al., 1982) وهذا يمثل العتبة الهوائية SV1 ، بينما مجموعة من الباحثين الآخرين حددوا مستوى العتبة اللبنية عند 4 ملي مول\ل (Skinner et McLellan, 1980, Meyer et al, 2005) وهذا يمثل العتبة الهوائية 2 (SV2) .

1-6 العتبة الهوائية 1(seuil ventilatoire (SV1)) :

العتبة هوائية 1 تعتبر النقطة الدقيقة التي يكون فيها زيادة واضحة وخطية في التهوية الرئوية (VE) حسب شدة الجهد البدني ، مقارنة مع حجم الأكسجين (Pérronet et Aguilaniu, 2012)، حيث يعتبر حجم أو مستوى التهوية الرئوية مهم جدا من أجل تحديد العتبة الهوائية 1 خلال اختبار الجهد البدني التدريجي.

2-6 العتبة الهوائية 2 (seuil ventilatoire (SV2)):

العتبة هوائية 2 تمثل عتبة تراكم حمض اللبن عند 4 ملي مول\ل مع زيادة متسارعة في التهوية حيث أن مستوى CO2 يرتفع مما يؤدي إلى فرط في التهوية . حيث نصل إلى العتبة الهوائية 2 عند مستوى عال من الشدة مما ينتج عن ذلك زيادة أخرى غير خطية في المستوى التنفسي VE و VCO2 وهذا يؤدي إلى انخفاض في PH وسط حامضي راجع إلى عدم قدرة الجسم على التخلص من أيونات H+.

قائمة المراجع:

- **Altman PL, and Dittmer DS** (1968). Digestion and absorption. Metabolism, J. Physiol , P 237-306
- **Astrand P O, Rodahl K**, (1986) . Textbook of work physiology : physiological bases of exercice (3rd ed). New york : McGraw-Hill.
- **Jéquier E.** Métabolisme énergétique. Encycl Méd Chir Paris 10371A10, 11-1980, 1-14.
- **G Pérès,** dépense énergétique et activités physiques et sportives , Faculté de médecine Pierre et Marie Curie site Pitié-Salpétrière, 2005.
- **La dépense énergétique**, collége des enseignats de nutrition, université médicale virtuelle francophone, 2010-2011
- **Orr, GW., Green, HJ., Hughson, RL., Bennett, GW** (1982). A computer linear regression model to determine ventilatory anaerobic threshold. *Journal of Applied Physiology, 52,1349*–1352.

- **Péronnet, F., & Aguilaniu, B.** (2012). Pulmonary and alveolar ventilation, gas exchanges and arterial blood gases during ramp exercice. 29, 1017-1034
- **Skinner, J. S., & McLellan, T. H. (1980)**. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *research quarterly for exercise and sport, 51, 234–248.*
- **Tappy L, Guenat E**, dépense d'énergie composition corporelle et activité physique chez l'homme, medcine Sciences , n° 10 , vol 16, 1063-8, 2000.
- **Simonton, CA., Higginbotham, MB., Cobb, FR.** (1988). The ventilatory threshold: quantitative analysis of reproducibility and relation to arterial lactate concentration in normalsubjects and in patients with chronic congestive heart failure. *American Journal of Cardiology, 62,100–107.*
- **Wasserman, K., Whipp, B.J., Koyl, S.N., & Beaver, W.L**. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology. 35, 236-243.*
- **Wasserman, K., et McIlroy, M. B.** (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *American Journal of Cardiology. 14, 844–852.*
- **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
- **Zuntz, N et Hagmann, O**. (1898). Untersuchugen uber den Stroffwechsel des PFerdes bei Ruhe und Ar-beit. Berlin : Parey.

المحور الثاني: التعب و أسبابه

La fatigue et ses causes

مقدمة :

إن الإحساس بالتعب يكون مختلف حسب نوع التمرين. التعب الذي يحدث أثناء 400 متر جري لمدة 40 إلى 60 ثا، لا يكون مثل التعب الذي يحدث عند التوقف من الجهد العضلي المطول مثل المراطون. مصطلح التعب عامة يستخدم أثناء انخفاض في مستوى الإنجاز العضلي و الإحساس بالتعب أو زيادة في الإنهاك، تعريف آخر للتعب و هو عدم القدرة على مواصلة العمل العضلي عند شدة معينة (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 129).

عند الطلب من أغلب الرياضيين بتحديد أو تعريف عامل التعب العضلي، الإجابة الأكثر شيوعا هي حمض اللبن. هذه الفكرة تعتبر كليا خاطئة، كذلك متفق عليها في المجلات الرياضية الشعبية. على العكس دراسات علمية تشير إلى التأثير الإيجابي على التفوق الرياضي.

التعب العضلي يمكن أن يعرف حسب (Enoka et Duchateau, 2008) بانخفاض انتقالي في قدرة إنجاز نشاط بدني، أكثر خاصية وهو حدوث عجز حركي يتميز بانخفاض متدرج في القوة العضلية أو المحدودية في المحافظة على نشاط دائم.

1- مختلف أنواع التعب (Les différentes formes de fatigue) :

نظريا يمكن أن نلاحظ حدوث نوعين من التعب (التعب المحيطي ، العضلي الهيكلي) و التعب المركزي هذا التمييز تم اقتراحه سنة 1931 في كتاب (Bainbridge) المتعلق بفزيولوجيا التمرين العضلي، حسب (McComas 1996) تم اقتراح عدة أنواع للتعب من طرف مجموعة من الباحثين. الأعمال التي قام بها (Bigland-Ritchie et al,) تشير إلى أن انخفاض القوة الملاحظ أثناء التقلص العضلي الإرادي الأقصى ينتج عنه نقصان في نشاط مخطط الطاقة العضلي (EMG) و يصاحب ذلك ضعف الخلايا العصبية للمراكز العليا، هذا التعب المركزي يؤدي إلى فقدان بنسبة 30% من القوة العضلية .

من جهة أخرى وضع كل من Nielsen et al فرضية التمرينات المطولة مع ارتفاع الحرارة (Hyperthermie) 34 دقيقة عند 60% من VO2max عند درجة حرارة 42° مع رطوبة قدرها 18% هذه الظروف يكون لها علاقة بحدوث التعب على مستوى قشرة المخ (Cortex cérébrale)، ارتفاع الحرارة المتزايد ينتج عنه انخفاض نشاط المخطط الكهربائي الدماغي. (electroencéphalographique) (Nielsen H et al, 2001).

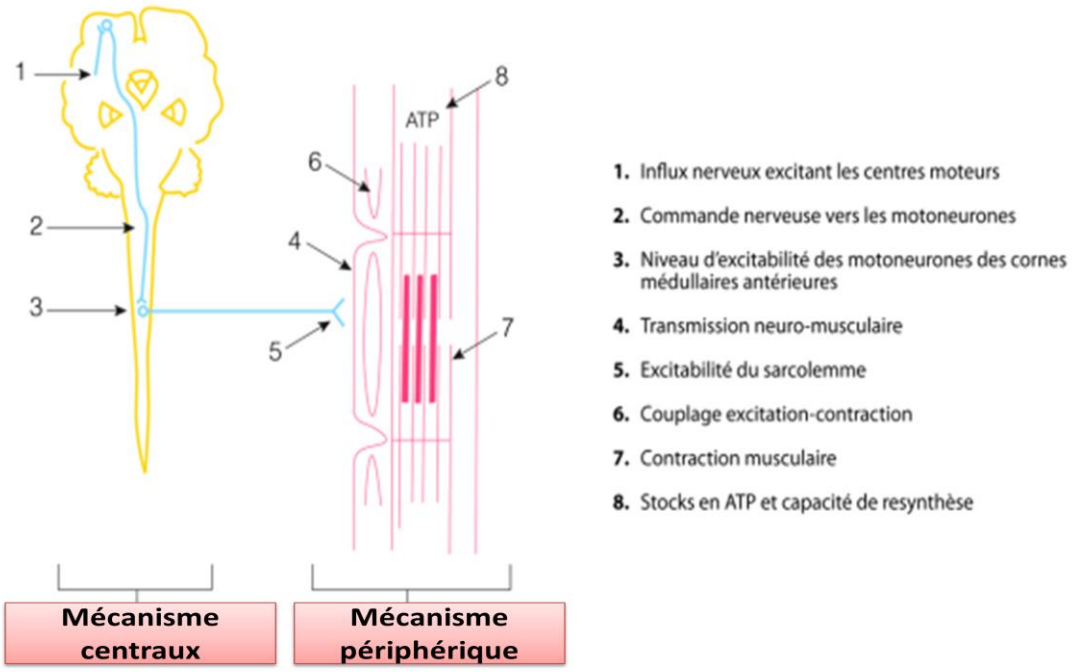
أغلب الآليات البحث من أجل تفسير ظاهرة التعب تركز على النقاط التالية معينة (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 125):

- الأجهزة الطاقوية (الفوسفو كرياتين و ATP، الجلكزة اللاهوائية، الالية الهوائية) .
- تراكم مختلف مخلفات العملية الأيضية مثل اللاكتات، و أيونات الهيدروجين.

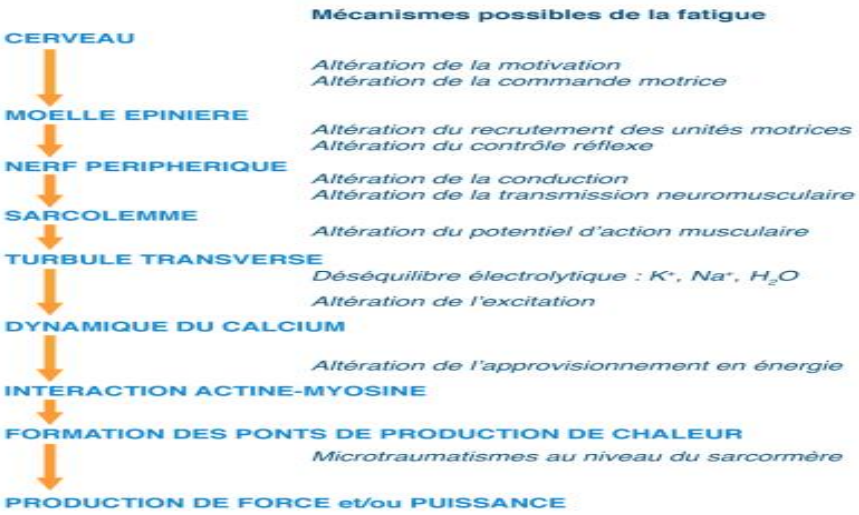
- ❑ تغير في آليات التقلص .
- ❑ تغير في الجهاز العصبي.

العوامل الثلاثة الأولى المذكورة التي تفسر هذه الظاهرة المتعلقة بالعضلات و هي التعب المحيطي تتمثل في:

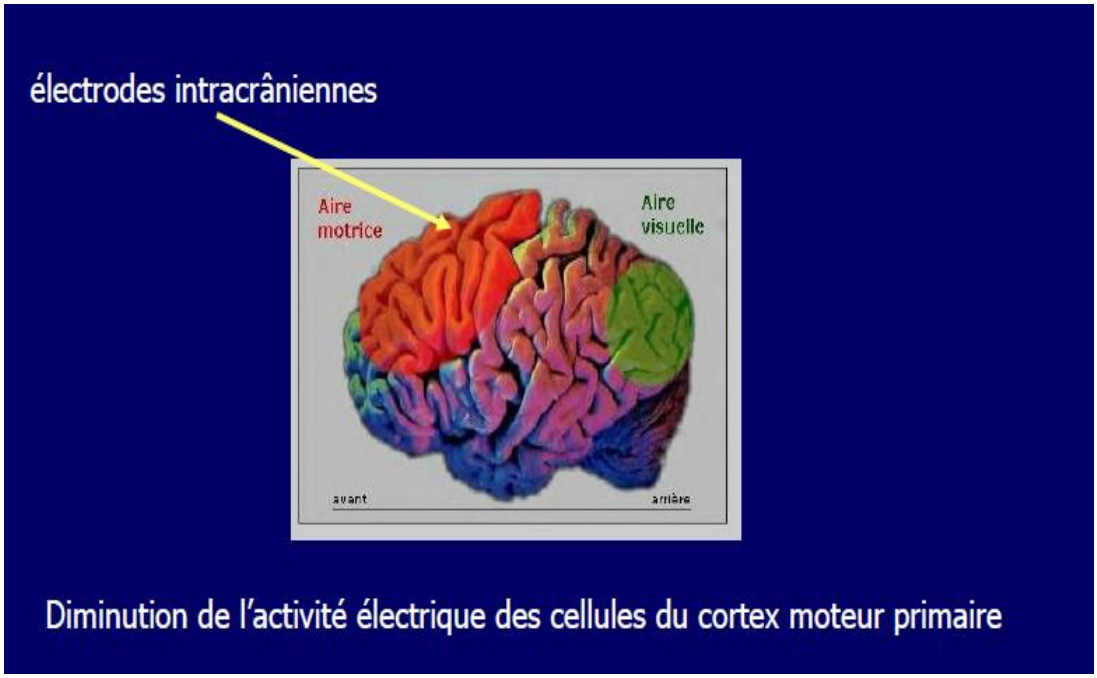
- ❑ التغيرات التي تحدث على مستوى الجهاز العصبي و هي تسمى بالتعب المركزي (Fatigue centrale).
- ❑ آليات التعب ترجع إلى نوع و شدة التمرينات.
- ❑ نوعية الألياف العضلية المستخدمة .
- ❑ مستوى التدريب الشخص و كذلك نوعية التغذية.



صورة رقم (01): المواقع المحتملة لحدوث التعب حسب (Bigland-Ritchie, 1984).

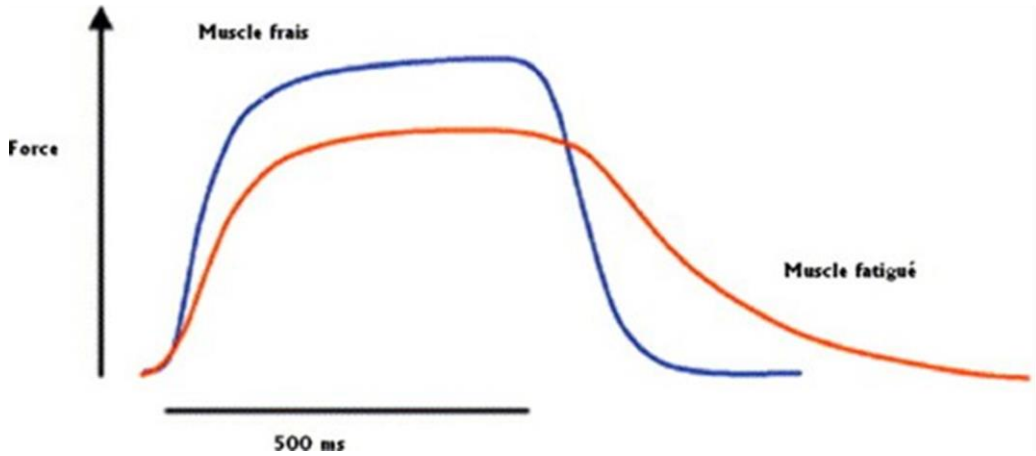


صورة رقم (02): آليات حدوث التعب حسب (Edwards 1983).

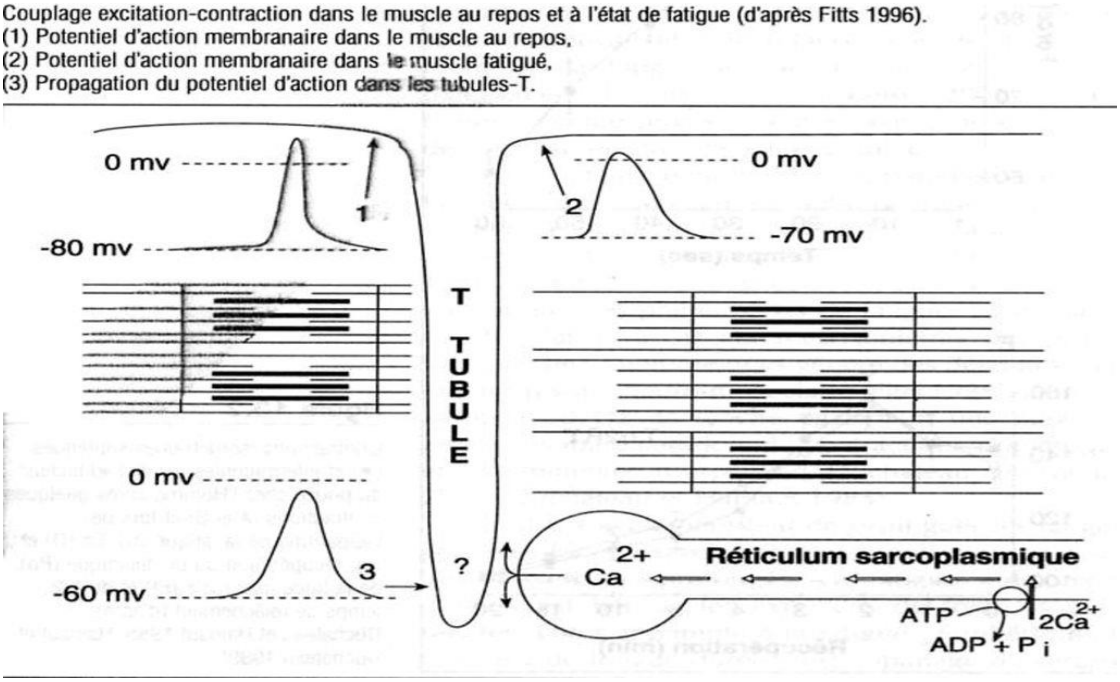


صورة رقم (03): انخفاض النشاط الكهربائي لخلايا القشرة الحركية الأولية (Mourot.L).

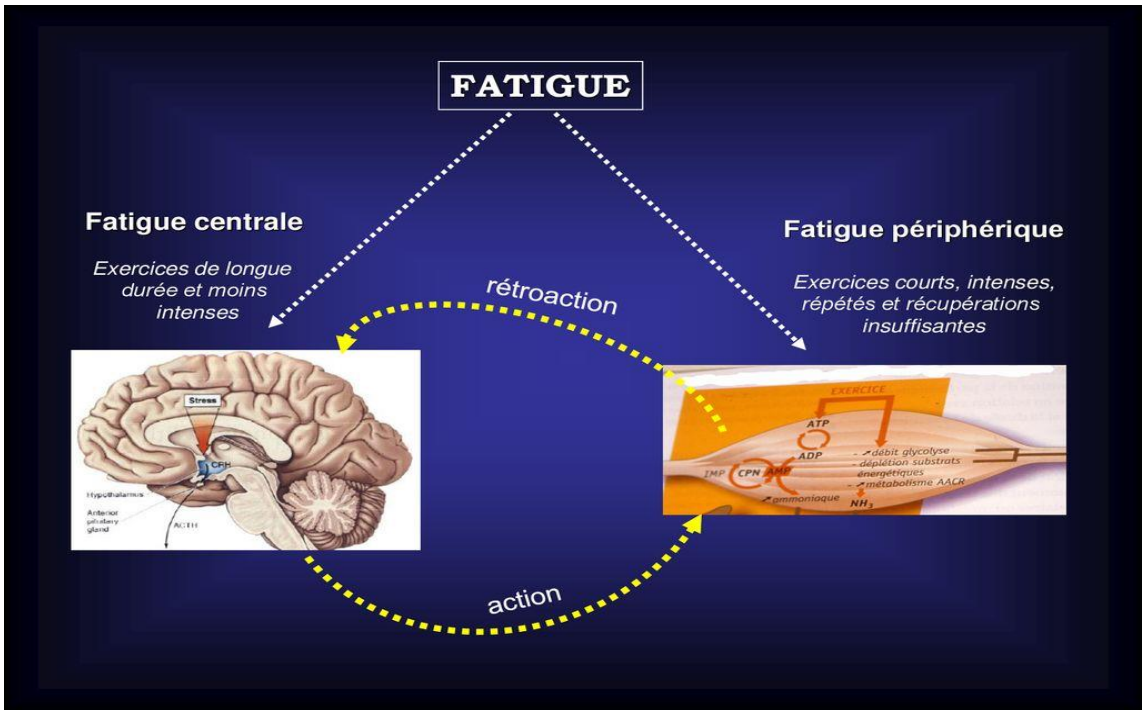
Fatigue musculaire = augmentation du temps de relaxation



صورة رقم (04): التعب العضلي و زيادة زمن الاسترخاء (Sesboué B, Guincestre J.Y, 2006).



صورة رقم (05): التزاوج بين التحفيز-التقلص في العضلة عند الراحة و حالة التعب حسب (Fitts R.H, 1996).(1) موجة كمون العمل الغشائي في العضلة عند الراحة. (2) موجة كمون العمل في العضلية عند التعب. (3) انتشار موجة كمون العمل في القنوات المستعرضة (T).



صورة رقم (06): العلاقة بين التعب المحيطي و التعب المركزي (Cazorla G, 2006).

جدول رقم (01): تصنيف مختلف أشكال التعب حسب (McComas, 1996).

تصنيف مختلف أشكال التعب العضلي حسب (McComas 1996)	
المراحل المتتابعة للحركات الإرادية	**الاضطرابات بسبب التعب**
التعب المركزي	**التعب المحيطي**
1- النشاط القشري و الدماغي	❑ التحفيز
2- السيالة العصبية القشرية	❑ انخفاض تحفيز و وتيرة تفريغ الوحدات الحركية
3- النقل عن طريق المسار الحركي الهابط	
4- تحفيز العصبونات الحركية	
التعب العضلي المحيطي	❑ إيقاف بعض المحاور النهائية
5- الانتشار على مستوى المحاور	❑ انخفاض
6- النقل العصبي العضلي	❑ حدوث تباطئ
7- النقل الساركولامي	❑ انخفاض
8- الإنتشار عن طريق القنوات المستعرضة	❑ تباطئ النقل الكالسيومي
9- تحرير كالسيوم الشبكة السركوبلازمية	❑ إنخفاض أعداد المعقد أكتين ميوزين و القوة المطبقة من طرف الالياف .
10- إرتباط المعقد أكتين ميوزين	

2- الآليات المحيطية للتعب العضلي (les mécanismes périphériques de la fatigues musculaire):

1-2 العوامل الميكانيكية الكيميائية للتعب العضلي(les aspects mécano-chimique de la fatigue musculaire):

1-1-2 الخصائص الميكانيكية (Les propriétés mécanique):

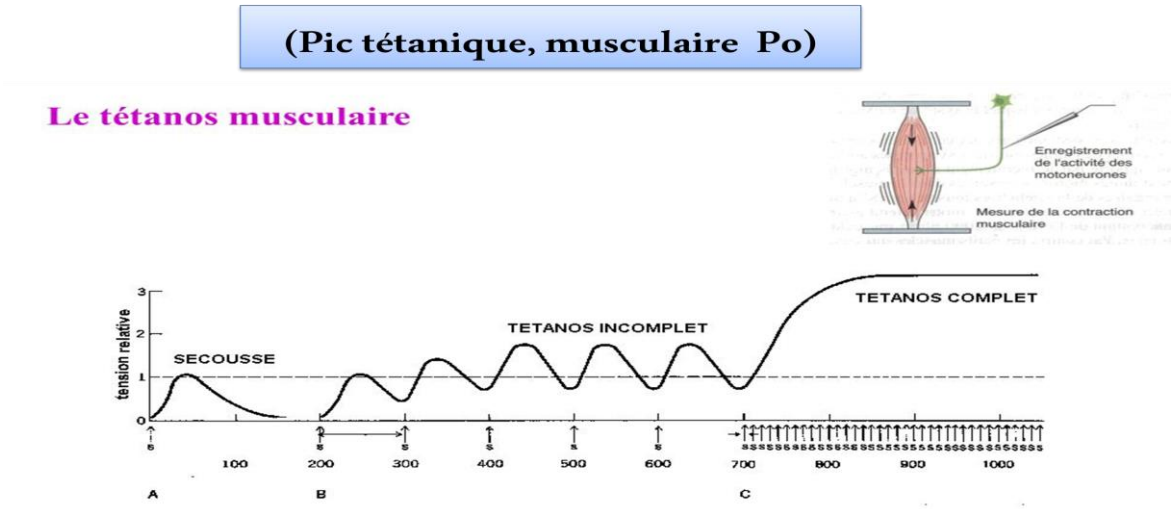
نشير إلى الآليات العصبية التي تؤدي إلى التعب العصبي العضلي (نشاط لا إرادي ،تفريغ الوحدات الحركية، النشاط الكهربائي العضلي ، العضلة القابضة و الباسطة) . وهي الظواهر الفزيولوجية الأكثر التي تم التطرق إليها و الأكثر استئنافا في أحسن ما نشر في المجلات السابقة (Enoka R M et Duchateau J, 2008) .

القوة العضلية المنتجة ترجع رئيسيا إلى الجمع بين رؤوس S1 للميوزين و جزيئات الاكتين. سرعة اختصار العضلة (VO) ترتبط ارتباطا وثيقا بسرعة إماهة الـ ATP من طرف أنزيم ATPase. حيث توجد تقنيات دقيقة تحليلية تسمح بتحليل (انخفاض القوة المنتجة) ، و سرعة الاختصار العضلي (VO) وحساب العلاقة بين القوة المميزة بالسرعة. التعب العضلي يتميز بانخفاض في القوة و سرعة الاختصار العضلي و القوة القصوى المنتجة. حيث يتم التعبير عن ذلك بطريقة مختلفة حسب نوع التقلص العضلي.

مهما كان نوع الألياف (type I ou II) أو نوع التنبيه للألياف التعب العضلي يحدث حسب (Fitts, R H 1996) إلى العوامل التالية :

- انخفاض في القوة المنتجة .
- انخفاض في ذروة الاسترجاع (Pic tétanique, Po) .
- زمن التقلص المطول (CT).

أحسن مؤشر لدرجة التعب العضلي أثناء التقلص الإيزومتري وهو انخفاض في ذروة الاسترجاع (Pic tétanique, Po). حيث يحدث انخفاض في أعداد تشكيل المعقد أكتين ميوزين خلال وحدة زمنية. على الأرجح انخفاض في القوة المنتجة من طرف المعقد في حد ذاته.



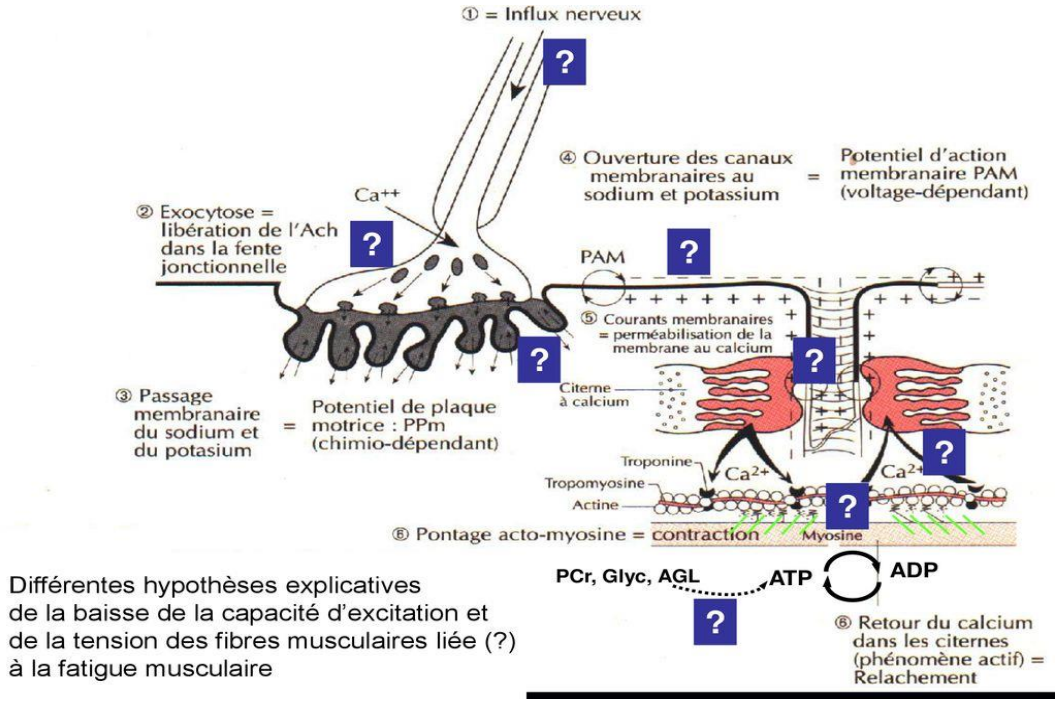
صورة رقم (07): التردد العضلي، ذروة التردد (Pic tétanique) أو ذروة الإسترجاع (PO) (Randall D.J, 2002).

2-1-2 المزاوجة بين التحفيز –تقلص (Le couplage excitation –contraction):

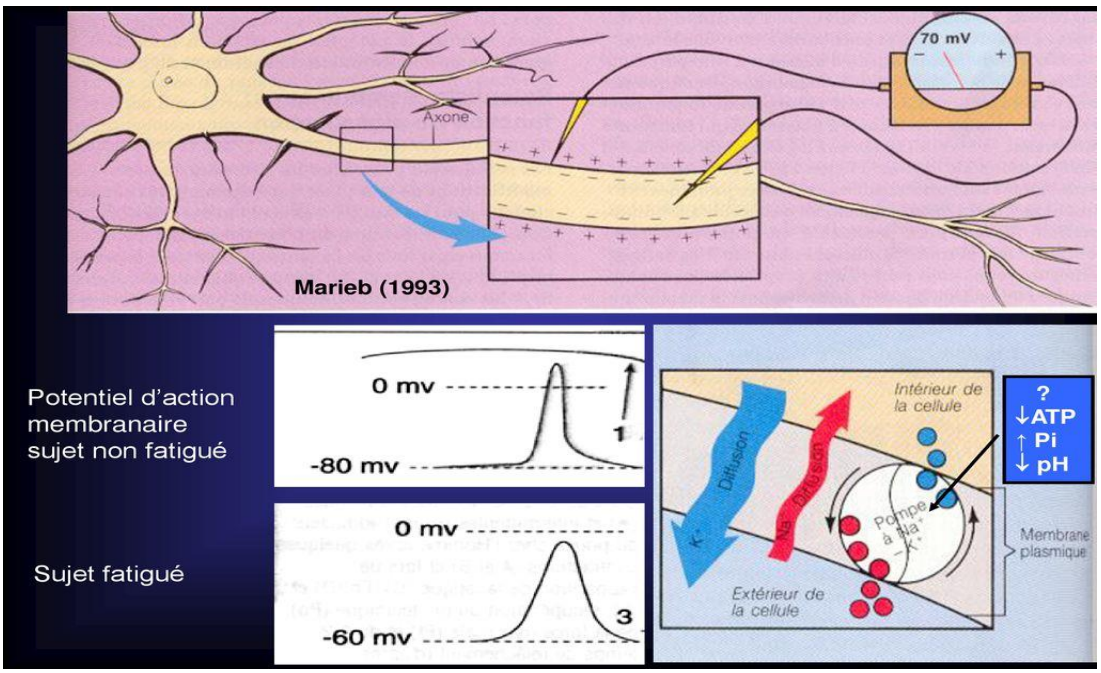
❖ **زوال الاستقطاب على مستوى الساركولام و مضخة الصوديوم و البوتاسيوم :**

بعد زوال الاستقطاب على مستوى اللوحة المحركة المرحلة الاولى لنقل السيالة العصبية تتمثل في إنتشار موجة كمون العمل على مستوى الغشاء الساركولامي. كمون العمل الغشائي للعضلة في حالة الراحة يساوي -80 ملي فولط. عند زوال استقطاب الساركولام يغير في الكمون بزيادة من +20 ملي فولط أثناء التقلص. أثناء حدوث التعب كمون الراحة الغشائي ينخفض إلى -60 ملي فولط و يصل إلى ±0 ملي فولط أثناء عملية التقلص (Fitts, R H 1996).

بعض الباحثين يشيرون إلى حدوث اضطرابات في تركيز شوارد البوتاسيوم، و الصوديوم على مستوى طرفي الغشاء و هذا مسؤول على أقل زوال للاستقطاب الغشائي، و هذا يؤدي إلى حدوث التعب. في الواقع العضلات التي تعبت تحرر البوتاسيوم بفرط (K^+). و في المقابل يتم إلتقاط الصوديوم (Na^+). هذا التحول الأيوني يشير إلى أن مضخة الصوديوم و البوتاسيوم لا تعمل بسرعة . في الواقع أن التقلص العضلي يمكن أن يرفع ± 20 مرة من نشاط مضخة الـNa^+-K^+ ATP ase ، لكن هذا النشاط يتم كبته أثناء تثبيت حالة التعب (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 530) .



صورة رقم (08): مختلف الفرضيات المفسرة لانخفاض مستوى التحفيز و توتر الألياف العضلية بسبب حدوث التعب العضلي (Cazorla G, 2005 -2006).



صورة رقم (09): موجة كمون العمل الغشائي لشخص ليس في حالة تعب و شخص أخر في حالة تعب (Marieb, 1993).

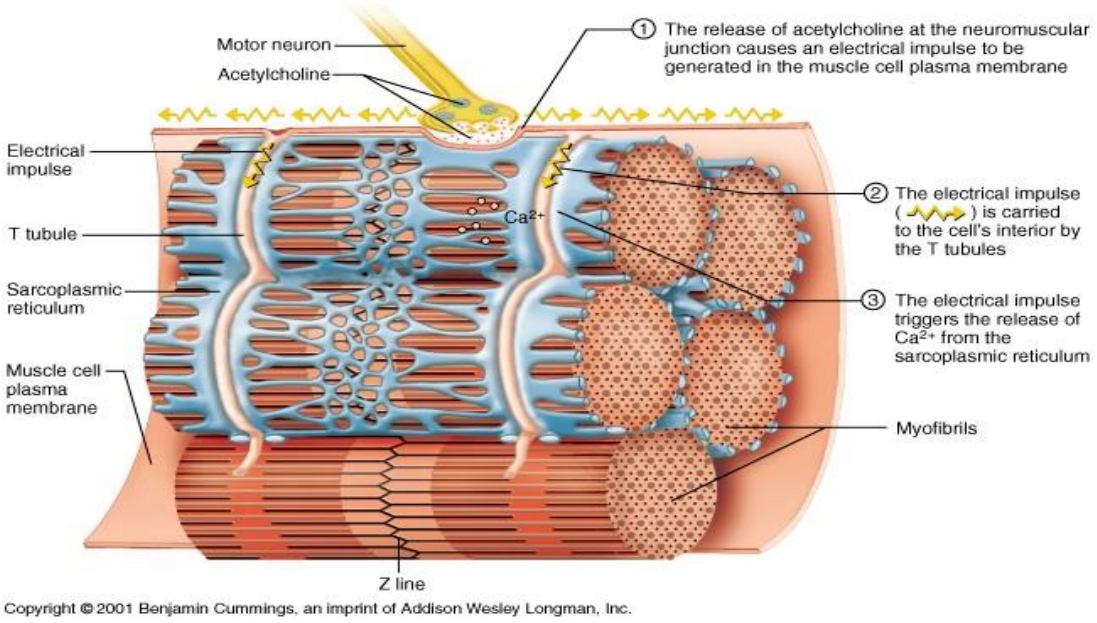
على كل حال يجب أن نعتبر كخلاصة أن حالة التعب ترتبط بالتدفق البوتاسيوم العالي. و هذا يحفز مجموعة من التغيرات في الكمون الغشائي (Sjogaard G, 1991). كلما زاد تواصل تركيز K+ ينتج عن ذلك انخفاض في كمون العمل على مستوى الساركولام و القنوات المستعرضة، وهذا يسبب كذلك

انتقال ضعيف لشوارد الكالسيوم و انخفاض في التوتر العضلي. هذه الفرضية تم مراقبتها عند مستويات عالية من الشدة. حسب (Sejersted et Sjogaard, 2000) لا تأخذ بعين الاعتبار عند التقلصات ذات الشدة الضعيفة (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 531).

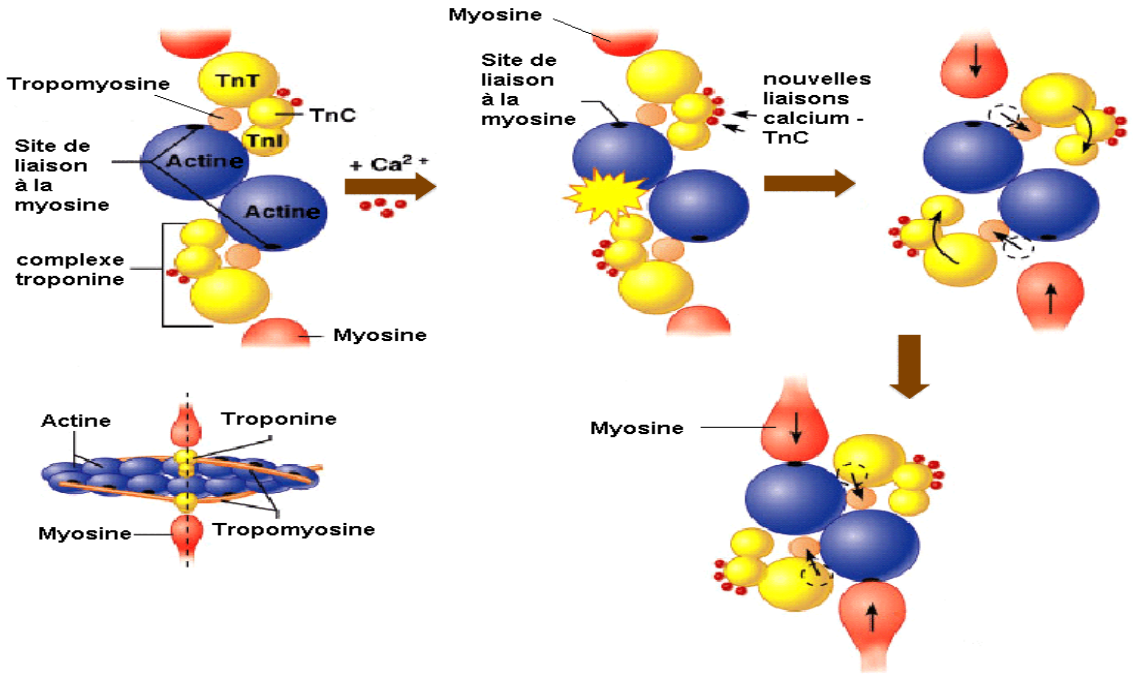
❖ **قنوات الكالسيوم للشبة الساركوبلازمية (les canaux calciques du réticulum sarcoplasmique):**

إن انتقال كمون العمل في عمق الألياف العضلية ينفذ رئيسيا على مستوى القنوات المستعرضة T . هذا التنقل لكمون العمل يتطلب تحرير شوارد الكالسيوم داخل غشاء الساركولام عدة دراسات لاحظت أثناء حدوث التعب العضلي انخفاض في تحرير كالسيوم الشبكة الساركوبلازمية الذي يصل إلى 40% (Allen Lamb et al, 2008) ، (Steele et Duke 2003) . كما قام كل من (Hill, Zou et coll, 2001) بدراسة لدى الإنسان متعلقة بعملية إمتصاص و تحرير الكالسيوم على مستوى الشبكة الساركوبلازمية أثناء التعب العضلي. في هذه الشروط و أثناء حدوث التعب (تقلص إيزوكينيتيك عالي الشدة) لاحظوا إنخفاض في حركة الكالسيوم (الإمتصاص و التحرير) من طرف الشبكة الساركوبلازمية، و من جهة أخرى لاحظ كل من (Li, Wang et al 2002) انخفاض بنسبة 40% في نشاط أنزيم ++ATP ase-Ca. حيث أن التعب يكون محدود في الألياف من النوع I مقارنة بالألياف من النوعII (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 531).

نستطيع أن نستنتج أن دور نقل شوارد الكالسيوم له دور راجح في آليات حدوث التعب، و هذا على الأقل من أجل التقلصات العضلية ذات الوتيرة المنخفضة. كما توصل كل من (Pasquet Carpentier et coll, 2000) أن الاضطراب في النقل الكالسيومي داخل العضلات يلاحظ أكثر أثناء التقلصات العضلية اللامركزية، مقارنة بالتقلصات العضلية المركزية (Pasquet B A, et al, 2000).



صورة رقم (10): تمثيل ثلاثي الأبعاد لتنظيم مختلف الهياكل، وتوسط القنوات المستعرضة (T)، التي تسمح بنقل موجات كمون العمل للوحات المحركة و الحركة الغشائية للسركولام على المساحة الداخلية لليف العضلي أين يتم زوال الاستقطاب مع قابلية غشاء الشبكة الساركوبلازمية للكالسيوم (Cazorla G, 2005 -2006).



صورة رقم (11): دور الكالسيوم في آلية التقلص العضلي (Marieb, 1993).

2- 2 العوامل الأيضية للتعب العضلي (musculaire):

1-2-2 نفاذ مخزون الجليكوجين (l'épuisement des stocks de glycogène):

يوجد إجماع عام على العلاقة بين إستنزاف و نفاذ الجليكوجين أثناء التمرينات المطولة و حدوث التعب المحيطي ، حيث أن نوعية التمرين (الشدة و المدة) تعتبر المسؤول عن نفاذ مخزون الجليكوجين العضلي و الكبدي. لدى الأشخاص العاديين نفاذ مخزون الجليكوجين يصبح له دلالة إحصائية عندما تكون شدة التمرين 70% من VO2max (Allen D G, et al, 2008).

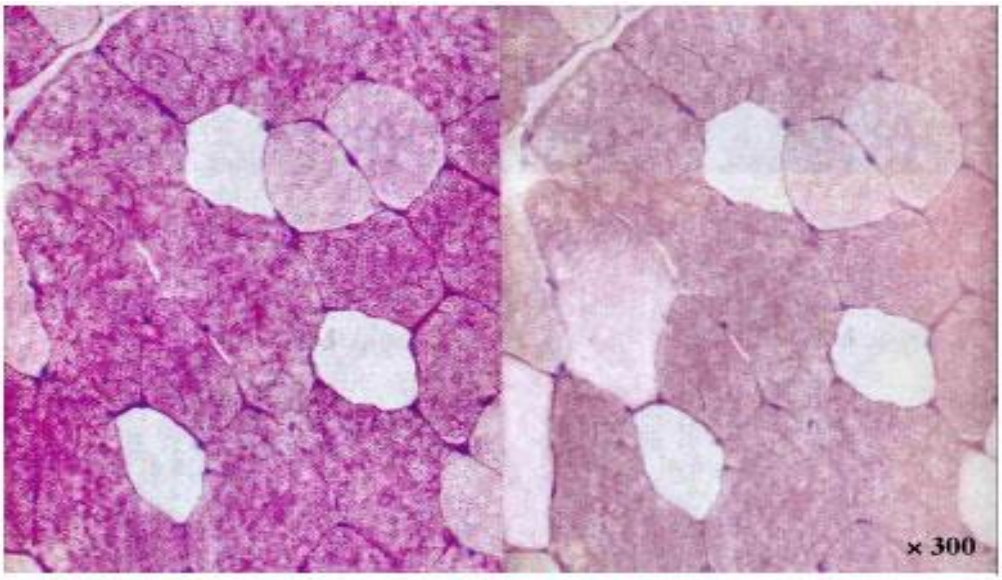
بسبب ارتباط الجليكوجين على غشاء الشبكة الساركوبلازمية نضع فرضية بأن الجليكوجين يعدل بقاء و خروج شوارد الكالسيوم من الشبكة الساركوبلازمية. عدة باحثين لاحظوا وجود علاقة إرتباطية بين نفاذ الجليكوجين العضلي و إنخفاض في نشاط مضخة أنزيم $ATPase-Ca^{+2}$ (Byrd, Bode et coll, 1988). و في تجربة أكثر إقناعا من طرف (Chin et Allen, 1991) تم اكتشاف تزامن نفاذ مخزون الجليكوجين و انخفاض نقل الكالسيوم Ca^{+2} الساركوبلازمي (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 533).

❖ **نفاذ مخزون الجليكوجين في الألياف العضلية (l'épuisement des stocks de glycogène dans les fibre musculaire):**

استخدام الألياف العضلية و استخدام المخزون الطاقوي يختلف حسب التمرينات، حيث أن الألياف الأكثر نشاطا هي التي تنهك، في البداية مخزون الجليكوجين يبدأ بالانخفاض تدريجيا وهذا يؤثر على الألياف المنتجة للقوة. قبل عملية الجري جميع الالياف العضلية من النوع ST و FT غنية بالجليكوجين و تظهر حمراء. بعد الجري الالياف من النوع FT تبقى غنية بالجليكوجين بينما الألياف من النوع ST تفتقر كليا إلى الجليكوجين وهذا يشير إلى أن الالياف من النوع ST تستخدم أولا عند تمرينات المداومة (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 127).

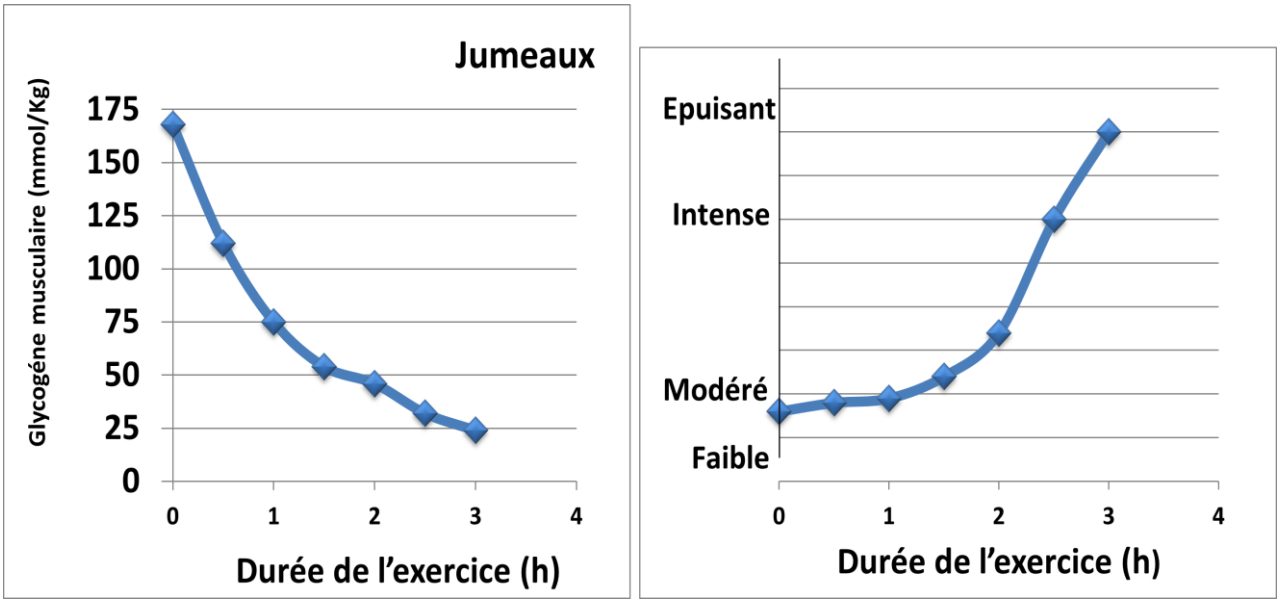
❖ **نفاذ مخزون الجليكوجين في مختلف مجموع العضلات (l'épuisement des stocks de glycogène dans les différentesgroupes musculaires):**

النفاذ الانتقائي للجليكوجين في الألياف من النوع ST و FT يمكن أن يكون بدرجات مختلفة وهذا حسب مجموع العضلات. نأخذ بعين الاعتبار لحالة الجري لمدة 2 سا عند شدة 70% من VO2max على بساط متحرك في حالة صعود أو هبوط ومهما كان مستوى ميلان البساط، تستخدم عضلات الساق (Jumeaux) دائما الكمية الأكبر من الجليكوجين مقارنة بعضلة الفخذ الجانبية الخارجية أو الفخذ الخلفية (Soléaire) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 127).



Coupe transversale de muscle avant (à gauche) et après (à droite) contraction
Le glycogène est coloré en violet

صورة رقم (12): مقطع عرضي للعضلة قبل (اليسار) و بعد (اليمين) التقلص العضلي. نفاذ الجليكوجين بعد الجهد البدني أين يظهر باللون البنفسجي في الصورة على اليسار.



صورة رقم (13) : انخفاض كبير في محتوى الجليكوجين العضلي في عضلة التوئمان خلال جري لمدة 3 ساعات عند شدة 70% من VO_2max على بساط الجري حسب (Costill D.L 1986).

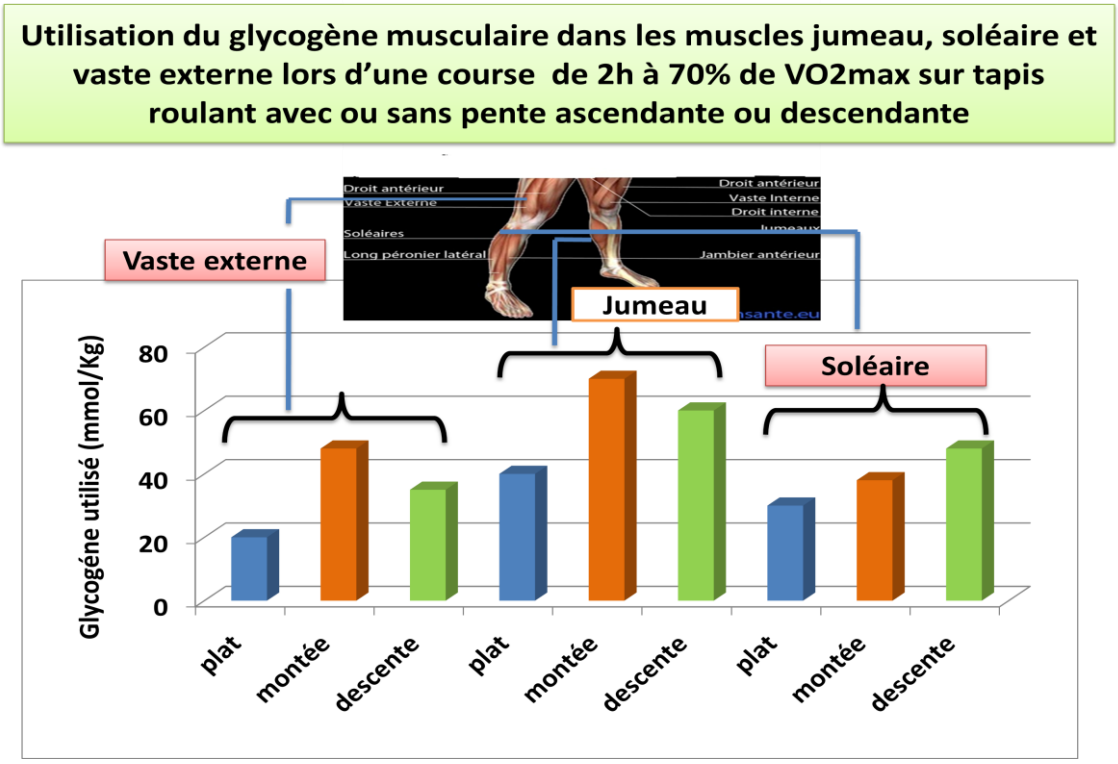
❖ **نفاذ مخزون الجليكوجين و غلوكوز الدم (l'épuisement des stocks de glycogène et glucose sanguin).**

الجليكوجين العضلي لا يمثل المصدر الوحيد للسكريات، أثناء تمرين لعدة ساعات، الغلوكوز ينقل إلى العضلات من طرف الدم وهذا من أجل توفير الطاقة اللازمة لتمرين التحمل. عند هدم الجليكوجين يسمح ذلك بالبقاء الثابت لمستوى السكر. استخدام غلوكوز الدم يصبح أكثر أهمية بعد مدة زمنية من بداية

التمرينات. حيث تعمل الكبد على الهدم أكثر فأكثر للجليكوجين في حالة طول مدة التمرين. وهذا يسرع نفاذ هذا المخزون و بداية حدوث التعب (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 128).

2-2-2 أيونات الفوسفات اللاعضوي(les ions phosphates inorganiques (Pi):

في العضلات و أثناء التقلص، التجارب على الحيوان دلت على أن تركيز الفوسفات يرتفع بتناسب مع انخفاض في تركيز فوسفوغيل كرياتين (phosphorylcréatine) (PC)هذا العلاقة الإرتباطية السلبية ترجع إلى بداية الحدوث التدريجي للتعب المحيطي (Baker A G et al, 1994).



صورة رقم (14): استخدام الجليكوجين العضلي في كل من عضلة (jumeau, soléaire et vaste externe) أثناء جري لمدة ساعتين عند شدة 70% من VO_2max على بساط الجري مع أو بدون ميلان تصاعدي و تنازلي.

العلاقة بين درجة التعب و إنتاج الفوسفات تم مراقبتها عن طريق التجارب على الألياف الغليسرين (glycérinées) (بدون ساركولام) معزولة ومغمورة في تراكيز مرتفعة من الفوسفات وهذا يوقف عملية التقلص (Martyn et Gordon, 1992). هذه الملاحظات تم تأكيدها من طرف (Balogm Fruen et coll,2000) الذين لاحظوا أيضا أن تراكم الفوسفات Pi يثبط نقل الكالسيوم (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 533).

لدى الإنسان، تقنية الصدى أو الرجع المغناطيسي النووي أو P^{33} تشير كذلك إلى وجود علاقة بين حدوث التعب و تراكم شوارد الفوسفات أثناء تمرينات التحمل و التقلصات العضلية الشاقة للعضلة

(L'adducteur du puce) (Miller, Boska et coll, 1988). الأسباب التي تؤدي بتدخل الفوسفات في آليات حدوث التعب تبقى مجهولة ، حيث أفترض كل من (Westerblad, Allen et coll, 1998) إلى التدخل المباشر لشوارد الفوسفات على مستوى المعقد أكتين ميوزين، ولكن تبقى هذه الفرضية غير مثبتة على المستوى الجزيئي (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 533).

3-2-2 حمض اللبن، البروتونات و التعب (Acide lactique, protons et fatigue):

ما هو واضح وجود علاقة بين زيادة التركيز البين عضلي للالكتات و إنخفاض التفوق أثناء التمرينات العالية الشدة. كذلك من الواضح عامة أن أيونات اللاكتات لا تطبق مباشرة في حدوث التعب المحيطي على العكس أيونات H^+ المحررة من طرف عملية الجليكوليز و الجليكوجينوليز (و النتيجة هي حمض اللبن) هي التي تطبق مباشرة في آليات التعب العضلي (Fitts R H, 1996).

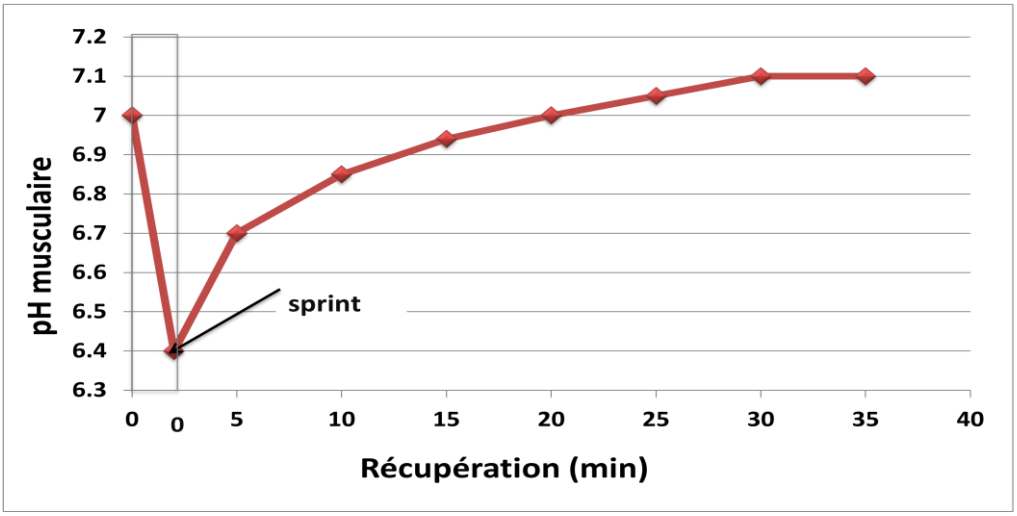
في حالة عدم إزالة حمض اللبن المتراكم في العضلات ينحل إلى أيونات اللاكتات و أيونات الهيدروجين +H ، هذا التراكم لأيونات +H يؤدي إلى زيادة درجة الحامضية في العضلة، التغيرات في درجة الحموضة القاعدية PH يؤدي إلى التغيير في إنتاج الطاقة و التقلص العضلي، حيث أن مستوى PH بين خلوي أقل من 6,9 يثبط حركة و عمل أنزيم الفوسفوفركتوكيناز (PFK) و هذا يحد من عملية الجلكزة و إنتاج الطاقة ATP. عندما تصل الـ PH إلى 6,4 تأثير أيونات +H يوقف عمليات هدم الجليكوحين وهذا يؤدي إلى انخفاض في مستويات الATP و حدوث الإنهاك (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 534).

إن تراكم البروتونات يعتبر عامل مهم في انخفاض القوة العضلية حيث أن تدخل البروتونات يكون في مستويات مختلفة عند حلقة التقلص العضلي و العمل الطاقوي العضلي:

- على مستوى النقل الكالسيومي: انخفاض الـPH على مستوى الألياف السليمة أو الغير سليمة مسؤول عن التباطؤ و الاسترخاء العضلي، PH حامضي يبطئ استرجاع شوارد الكالسيوم على مستوى الشبكة الساركوبلازمية.
- على مستوى المعقد اكتين ميوزين إنخفاض PH يرفع من التركيز الليفي لشوارد الكالسيوم الحر في الالياف (التعبة) و يخفض كذلك من قابلية التروبونين لهذه الشوارد. من المحتمل أن الحمضية تخفض من أعداد المعقد أكتين ميوزين الوظيفي. حتى و إن كان تركيز PH البين عضلي أقل من 7 إلى 6,2 انخفاض القوة القصوى يكون حوالي33 % في الألياف من النوع Iو II .(Fabiato A et Fabiato F, 1978).
- على مستوى العمل الانزيمي PH حامضي يثبط نشاط أنزيم الفوسفو فركتو كيناز (PFK1)و بالتالي مستوى التدفق الجليكوليكي.

- المخطط الذي يوضح العلاقة بين القوة و القدرة (Force- puissance) ينخفض أيضا على مستوى الألياف من النوع I (-35%) و من النوع II (-20%) وهذا بسبب انخفاض في الـ PH من (7,0 إلى 6,2) (Fitts R H, 2004).

Variation du ph musculaire pendant et après un exercice de sprint , remarquer la chute brutale du pH musculaire à l'arrêt immédiate de sprint et son retour progressive à la normale, qui nécessite environ 30 min



صورة رقم (15): تغيرات قيمة الأس الهيدروجيني (PH) أثناء و بعد تمرين سرعة، حيث نلاحظ الانخفاض الحاد في قيمة الـ(PH) العضلي عند التوقف المباشر من تمرين السرعة و الرجوع التدريجي إلى الحالة العادية، حيث يتطلب ذلك حوالي 30 دقيقة (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 129).

2-2-4 نفاذ مخزون الفوسفو كرياتين (l'épuisement des stocks de phosphocréatine):

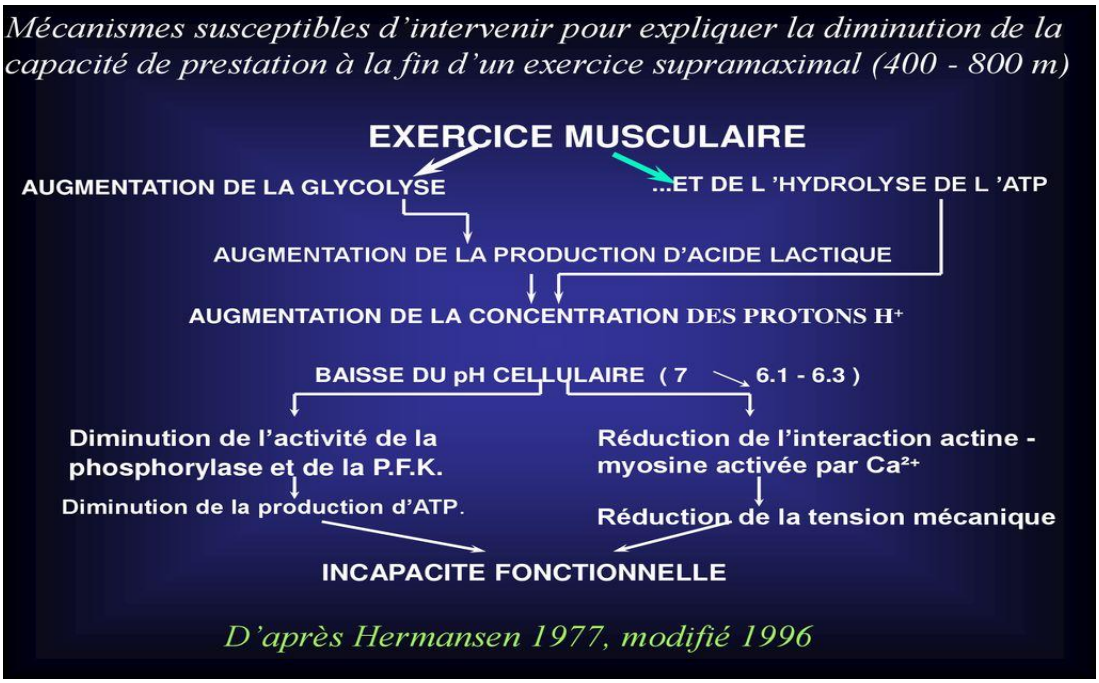
لدى الإنسان تم التوصل إلى أن التعب يمكن أن يتزامن مع نفاذ مخزون الفوسفو كرياتين أثناء التقلصات القصوى المكررة كما أن الـATP مسؤول مباشرة عن إنتاج الطاقة في مختلف النشاطات، هذا المخزون ينخفض أقل مقارنة بمخزون الفوسفو كرياتين نظرا لأن الـATP يمكن أن يتم إنتاجه من طرف الآليات الطاقوية الأخرى. عند التعب كل من مخزون الـATP و PCr ينخفض بحدة، و هذا ما يعتبر سبب آخر لحدوث التعب أثناء التمرينات الشاقة و القصيرة نظرا لتراكم الفوسفات اللاعضوي (Pi).

2-2-5 تأثير الـATP على التعب (l'effet de l' ATP sur la fatigue):

لدى الإنسان و عند القيام بأخذ عينة من النسيج العضلي تم التوصل إلى أن تركيز الـATP يبقى مرتفع ± 50% عند نهاية التمرين شاق، حتى و في حالة انخفاض في مستويات القوة الأولية بنسبة 80%، لذلك يجب أن نعرف أن توزيع الـATP ينتشر و يقسم في مختلف أجزاء الألياف العضلية (Westerblad H, 1998). النفاذ الموضعي للـATP يمكن أن يحدث أثناء تمرينات ذات شدة مرتفعة و

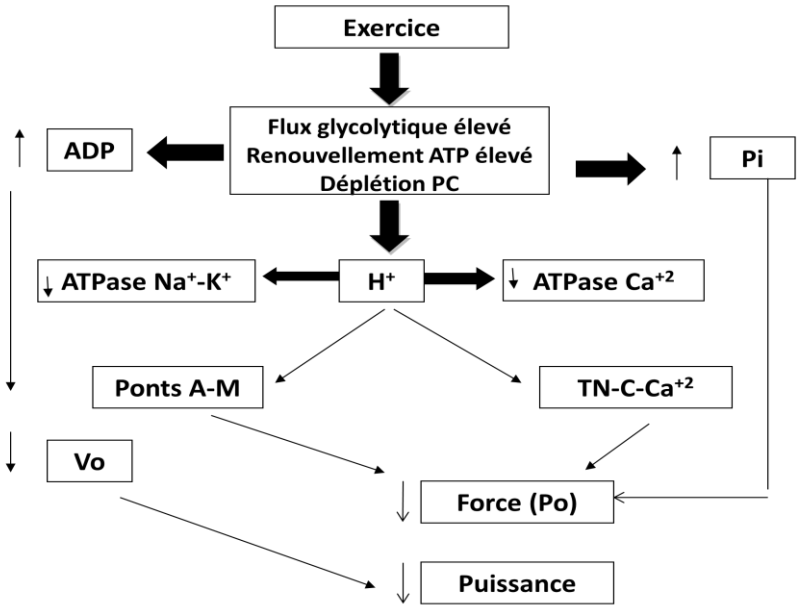
هذا ما يؤثر على وظيفة مضخة الكالسيوم، وكذلك عدة مضخات أخرى أيونية (Na+/K+) التي تعمل بفضل الـATP .

في الراحة و على مستوى العضلات الهيكلية، الطاقة الحرة هي 54كيلوجول\مول. أثناء التمرينات الشاقة و المنهكة تراكيز الـATP تتغير قليلا بينما تركيز الADP و Pi يرتفع بصورة واضحة. كذلك الطاقة الحرة تنخفض إلى 50 كيلوجول\مول أو اقل بعد 6 ثواني من تمرينات عالية الشدة (Sahlin, K et al, 1978). بينما هذا الانخفاض في الحمولة الطاقوية يعتبر ضعيف (-10%) و لكنه كافي من أجل تغيير وظائف القنوات الكالسيومية (Kammermeier H, 1987).



صورة رقم (16): الآلية المحتملة المتدخلة من أجل تفسير إنخفاض قدرة الإنجاز عند نهاية تمرين فوق أقصى (400-800م) حسب (Hermansen, 1977, modifier 1996).

Représentation schématique de l'intervention des protons, du Pi et de L'ADP dans les mécanisme de la fatigues musculaire d'après (Fitts 1996), Vo=vitesse de raccourcissement, Po= Puissance tétanique, TNC= Troponine C/



صورة رقم (17): مخطط توضيحي لتدخل بروتونات الفوسفات اللاعضوي (Pi) و الأدينوزين الثنائي الفوسفات في آلية التعب العضلي حسب (Fitts, 1996). Vo= سرعة الإختصار العضلي، PO= قوة التردد، TNC= التربونين C.

3- التعب المركزي(la fatigue centrale) :

مصطلح التعب المركزي (العصبي) يحدث بعد تقلص أقصى إرادي. نشير إلى أن التعب يحدث بسبب انخفاض التوصيل الدماغي للسيالة العصبية أو إيقاف على المستوى النخاعي. قام (Masson, 1915)بإنجاز التجارب الأولية حول التعب المركزي و هذا بفضل مقياس لقدرة العضلة على العمل (Ergographe) حيث تم الطلب بقيام شخص بمجموعة من الحركات ثني و انبساط للمفاصل ما بين سلاميات اليد وصولا إلى حدوث التعب العضلي مع المحافظة لأطول مدة ممكنة لعملية التقلص. حسب (Maclaren, Gibson et coll, 1987) فإن التعب المركزي يعرف بعجز في النقل العصبي المركزي (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 536).

عن طريق التنبيه المباشر من طرف قشرة المخ التقنيات الكهربائية الفزيولوجية اكتشفت تدخل المراكز العصبية العليا و الأعصاب الحركية العضلية في آليات التعب (Taylor J.L et Gandevia S.C, 2001). من الصعب الربط بين حدوث التعب المركزي و التعب المحيطي العضلي. التعب المركزي يرجع إلى حدوث تغير في الوسائط العصبية الكيميائية.

هذه الوسائط الناقلة العصبية الكيميائية مسؤولة مباشرة عن نقل الرسالة العصبية بين مختلف مكونات المخ ، بعض المجلات العلمية استخلصت التغيرات في مختلف الوسائط الناقلة العصبية . هذه التغيرات تعتبر السبب في حدوث آليات التعب المركزي (Guézennec C.Y, 2000).

1-3 الفرضية الشوكية (l'hypothèse spinale):

يمكن الوصول إلى تدخل التحكم الشوكي للحركات و حدوث التعب المحيطي العضلي. حيث لاحظ كل من (Christova et Kossev 1998) أثناء تقلص عضلي إيزومتري متكرر لدى الإنسان، أن وتيرة التفريغ للعصبونات الحركية α المعزولة ينخفض وهذا يؤدي إلى حدوث التعب. حسب (Nordstrom, et coll, 2007) لم يتم التأكيد أن تحفيز العصبونات الحركية الشوكية يعتبر العامل الأساسي في حدوث التعب العضلي الملاحظ لدى الإنسان. دور التحكم الفوق الشوكي للمراكز الأخرى يلعب دورا في حدوث التعب . نلاحظ أيضا أن تدريب التحمل يحفز تكيفات في العصبونات الحركية α المسؤولة عن بدء التقلص العضلي، و هذا من خلال تطبيق آليات التوصيل الأيوني الذي يرفع من عتبة التنبيه لهذه الخلايا (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 537).

2-3 فرضية النورادرينارجيك (l'hypothèse noradrénergique):

النورادرينالين هو وسيط ناقل يوجد في عدة مناطق من الدماغ (المهاد، تحت المهاد، القشرة المخية...) تصنع العصبونات النورادرينالين عن طريق حمض أميني يسمى الفينيل الانين (Phénylalanine). أثناء التمرينات المرتفعة الشدة (جري على بساط متحرك أو السباحة) منجز من طرف الفئران، يكون هناك تغيرات في التركيز الدماغي للنورادرينالين بطريقة متباينة و مختلفة (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 537).

الانخفاض في تراكيز النورادرينالين أثناء التمرينات ذات الشدة المرتفعة يفسر إلى الزيادة في سرعة هدم هذا الوسيط الناقل (Chouloff, 1989) . بعض التجارب المنجزة بعد التدريب من النوع الهوائي توصلت إلى زيادة في التراكيز الكلية للنورادرينالين الدماغي (+20 إلى 60% مقارنة بالتراكيز لدى عينة حيوانات مراقبة). تركيز النورادرينالين يرتفع بشدة على مستوى ثلم القشرة الدماغية. وعلى العكس تراكيز النورادرينالين تنخفض في بعض مناطق الدقيقة من المخ (تحت المهاد، الجدع الدماغي). حدوث إضطرابات في تركيز النورادرينالين يؤدي إلى حدوث التعب المركزي (Poortmans J.R, Boisseau N, 2009, P 537).

جدول رقم (02): تركيز النورادرينالين في مختلف مناطق الدماغ لدى الجرذان تحت تمرينات ذات شدة مرتفعة (Poortmans J.R et boisseau N, 2009, P 537).

نوع التمرين	مناطق المخ	النتائج	الباحثين
سباحة شاقة	كلها	↓	Brachas et Freedman (1963)
جري	كلها	↑	Brown, Payne et coll (1979)
جري	كلها	↑	Arworth, Nicolass et coll (1986)
سباحة شاقة	كلها	↑	Ostman et Nyback (1976)
سباحة شاقة	كلها	↓	Cicardo, Carbone et coll (1986)
جري	منطقة تحت المهاد	NS	Blomstrand, Perrett et coll (1989)
جري	منطقة تحت المهاد	↓	Stone (1973)
جري	منطقة تحت المهاد	↓	Heyes, Garnett et coll (1988)
جري	منطقة تحت المهاد	↓	Lukaszyk, Buckzo et coll (1983)
جري	الجدع الدماغي	↓	Stone (1973)
جري	الجدع الدماغي	↓	Heyes, Garnett et coll (1988)
جري	منطقة تحت المهاد	NS	Hasegawa, Piacentini et coll (2008)

3-3 فرضية الدوبامينارجيك (l'hypothèse dopaminergique) :

تحتوي العصبونات على الدوبامين و هو وسيط ناقل يأتي من تحويل الفنيل الانين، وهو مهم في نشاط الجهاز الحركي الدماغي. يتواجد رئيسيا في الدماغ المتوسط ، وسط الدماغ، (diencéphale, mésencéphale) حيث يشارك في نقل السيالة العصبية حاملا الرسالة الحركية. مجموع الأبحاث المنشورة تشير إلى إنتاج متزايد للدوبامين أثناء التمرينات الشاقة و المستمرة لدى الجرذان أو الفئران.(Meeusen R et De Meileir K , 1995).

نشير كذلك إلى أن تراكيز الدوبامين ترتفع في مختلف مناطق الدماغ أثناء التمرينات الشاقة. حيث أن التراكيز المرتفعة ترفع وتزيد من مدة التمرينات. وبالتالي فإن حدوث نقصان أو اضطرابات في توزيع هذا الوسيط الناقل يسبب حالات التعب .

جدول رقم (03): تأثير التمرين البدني على الدوبامين (الفئران).

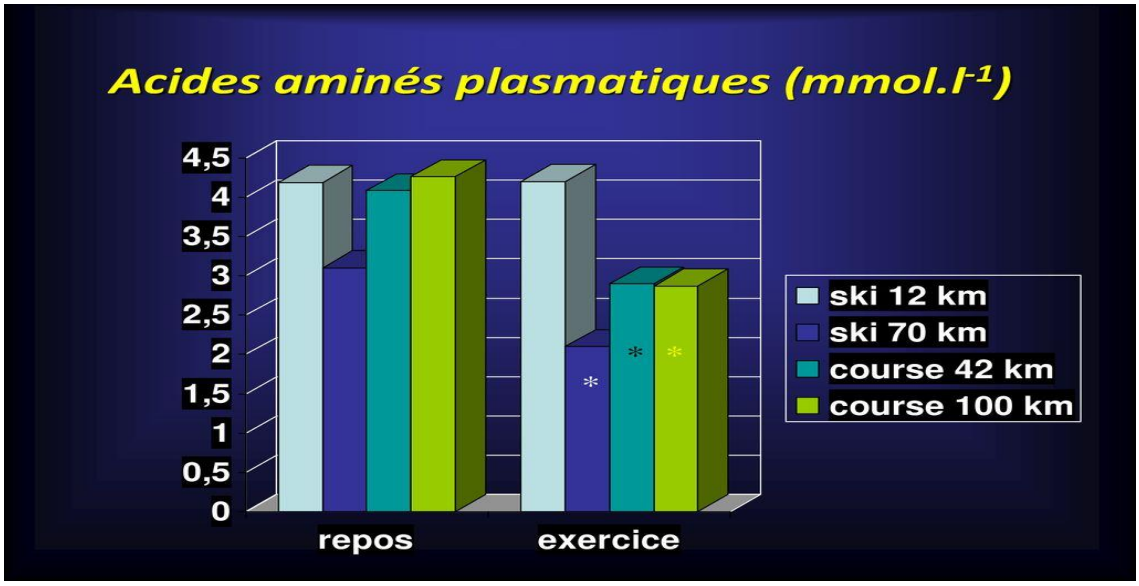
الباحث	التمرين	المنطقة	النتيجة
Freed 1985	جري 20 دقيقة	الجسم المخطط (striatum)	↑
Speciale 1986	عجلة لمدة ساعة	الجسم المخطط (striatum)	↑
Acworth 1986	جري 90 دقيقة	في جميع المناطق	لا يوجد تغير
Chaouloff 1986	جري 1 ساعة	المخ (cerveau)	↑
Heyes 1988	جري 16 دقيقة	الجسم المخطط (striatum)	↑
Blomstrand 1989	جري منهك	منطقة تحت المهاد (hypothalamus)	↑
Bailey 1992	جري 1 ساعة	الحصين (Hippocampe)	↑
Bailey 1993	جري منهك	في جميع المناطق	↑

4-3 فرضية السيروتونينارجيك ((5-HT) l'hypothèse sérotoninergique):

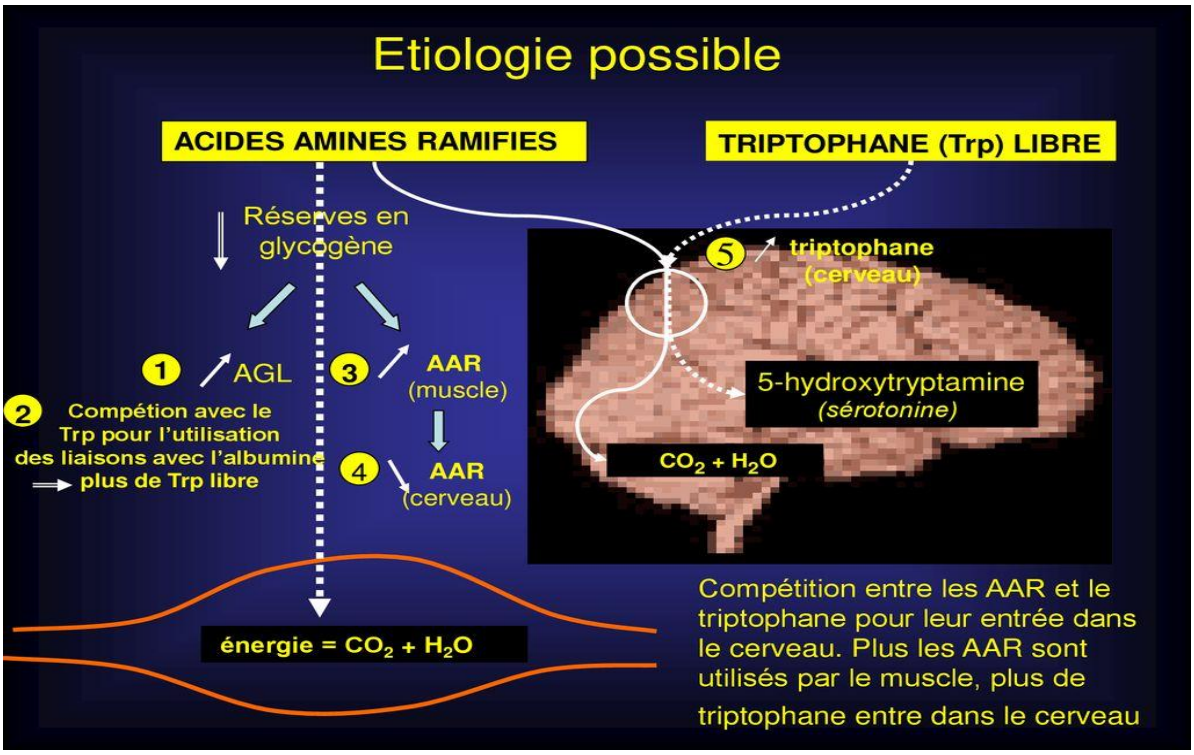
العصبونات التي تحتوي على السيروتونين تتواجد في الدماغ المتوسط (mésencéphale) حيث يشارك في نقل السيالة العصبية على مستوى منطقة المهاد، الانوية الرمادية، القشرة... هذه العصبونات تتواجد أيضا في النخاع الشوكي. تصنيع السيروتونين و هو يسمى أيضا (5-hydroxytryptamine, 5H-T) عن طريق حمض أميني يسمى (التربتوفان) حيث يتطلب تفاعلين انزيميين. أغلب التجارب المنجزة لدى الإنسان إكتشفت وجود علاقة بين الإنتاج المتزايد للـ5-HT و حدوث التعب المركزي. الإنتاج المتزايد للبرولاكتين على المستوى البلازمي (مصاحب للـ5-HT) يمكن أن يعتبر كشاهد غير مباشر لتحفيز وظيفة السيروتونينرجيك و بالتالي التعب المركزي. حيث توجد علاقة بين التعب المركزي و إنتاج السيروتونين الدماغي (الجدع الدماغي، منطقة تحت المهاد) خاصة، لدى الحيوان تقنية التصفية الدقيقة الدماغية أكدت إنتاج و تحرير 5H-T.. لدى الإنسان حدوث التعب المركزي يتزامن مع تحفيز و تنشيط وظائف السيروتونين (Poortmans J.R et boisseau N, 2009, P 540).

في بعض المناطق الخاصة على مستوى المخ، الوسيط الناقل (5-hydroxytryptamine, 5H-T) يعمل على تحفيز عملية النوم، تثبيط انعكاس الخلايا العصبية الحركية عند العملية البعد مشبكية (انخفاض التحفيز). يثبط أيضا بعض الإفرازات الداخلية في منطقة تحت المهاد.

التعب الكامن (الشعور بالحاجة إلى النوم) يصاحبه نقص استجابة عضلية و وترية وهذا يسبب عدم قدرة الرياضي على تحديد و تشخيص الحالة الحقيقية للتعب و الإصابات الحقيقية على مستوى العضلات. الرياضي يفقد أيضا بعض الإشارات التنبيهية التي من شأنها أن تحد من التوتر الميكانيكي.



صورة رقم (18): تغير مستويات الأحماض الآمينية البلازمية لدى رياضيي التزحلق على الثلج و عدائي المسافات الطويلة أين تتم المقارنة بالتراكيز المسجلة في حالة الراحة و عند أداء الجهد البدني (Cazorla G, 2005- 2006).

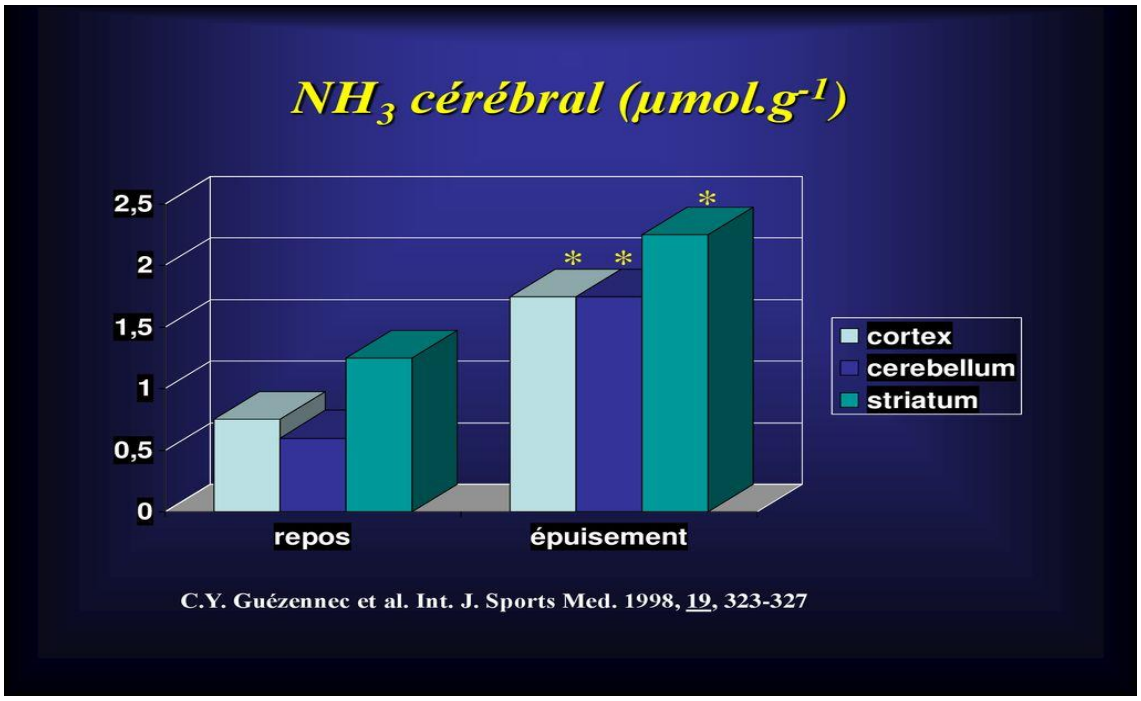


صورة رقم (19): الآلية الفزيولوجية لكيفية ارتفاع مستويات (5-hydroxytryptamine, 5H-T) في مناطق الدماغ عند أداء التمرينات البدنية المطولة (Cazorla G, 2005- 2006).

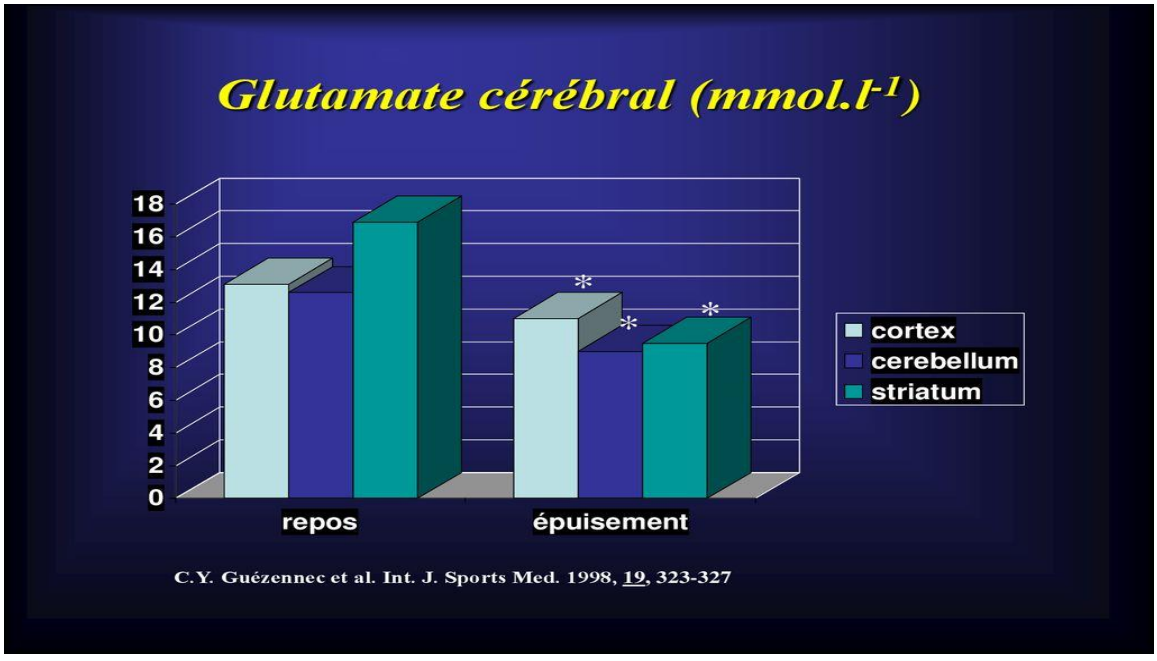
5-3 فرضية حمض y–امينوبوتيريك (l'hypothése de l'acide y- aminobutyrique):

في سنة 1990 وضع كل من (Banister et Cameron) فرضية تدخل محلول النشادر على مستوى تصنيع مختلف الوسائط الناقلة. الرفع من تركيز النشادر أو الأمونياك الدماغي (بعد تمرين شاق) يسمح بتحويل الغلوتامات إلى غلوتامين. الغلوتامات يتحول كذلك إلى حمض y–امينوبوتيريك . حيث يعتبر حمض y–امينوبوتيريك (GABA) الوسيط الناقل الرئيسي المثبط للدماغ.

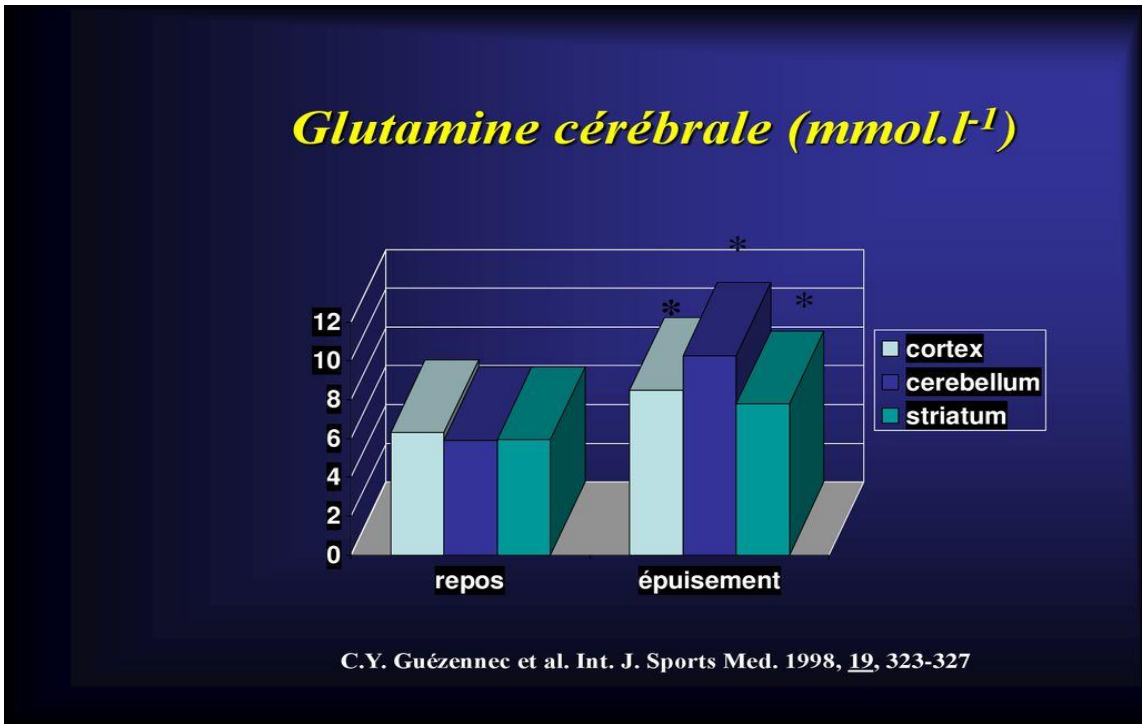
التراكيز الدماغية لحمض الامينوبوتريك تنخفض أثناء التمرينات المطولة ذات الشدة المرتفعة ،هذا الانخفاض يحفز الرفع من تصنيع (5-hydroxytryptamine,5H-T). لدى الجرذان عند أداء التمرينات أشار كل من (Guézennec , 1998) في تجربة واضحة إلى انخفاض في تراكيز الغلوتامات المسؤول على تصنيع حمض y–امينوبوتيريك الذي يثبط تصنيع 5-HT، إنخفاض في تراكيز الغلوتامات الدماغي أثناء التمرينات المطولة ذات الشدة العالية يحفز زيادة تصنيع و إنتاج 5-HT المسؤول عن حدوث آليات التعب المركزي(Guézennec C.Y et al , 1998) .



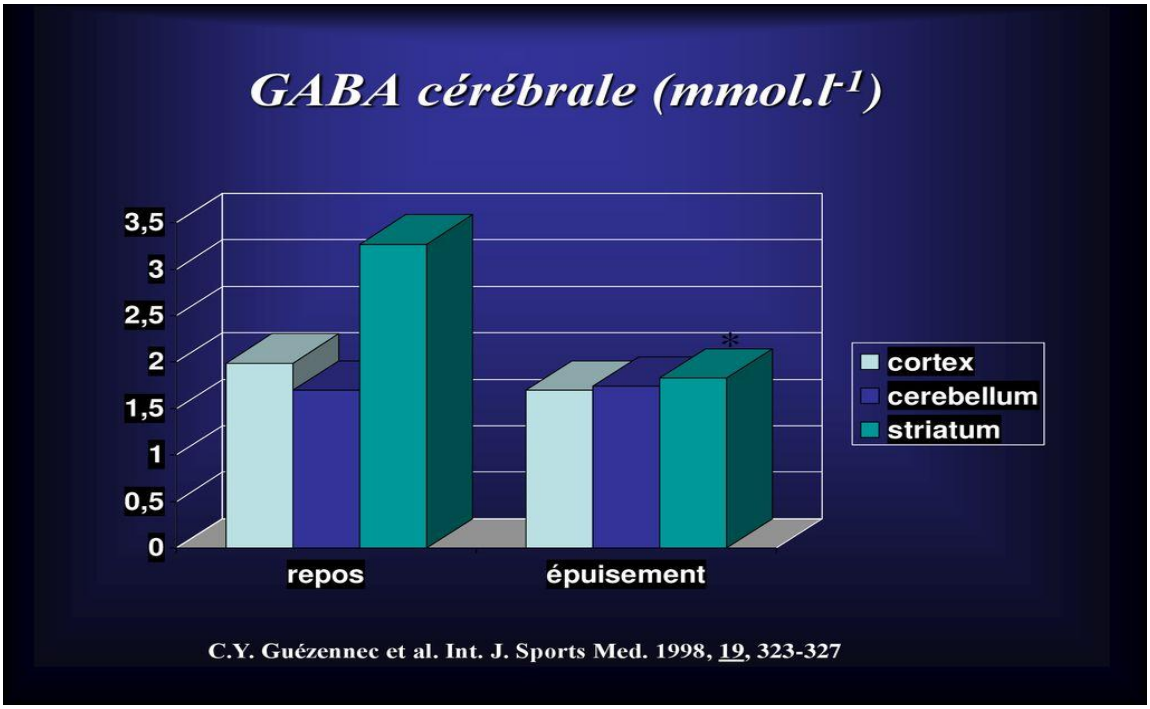
صورة رقم (20): تغير مستويات الأمونياك الدماغي (NH_3) في حالة الراحة و عند الوصول إلى حالة الإنهاك بعد جهد بدني مطول على مستوى مناطق مختلفة من الدماغ حسب (Guézennec C.Y et al , 1998) .



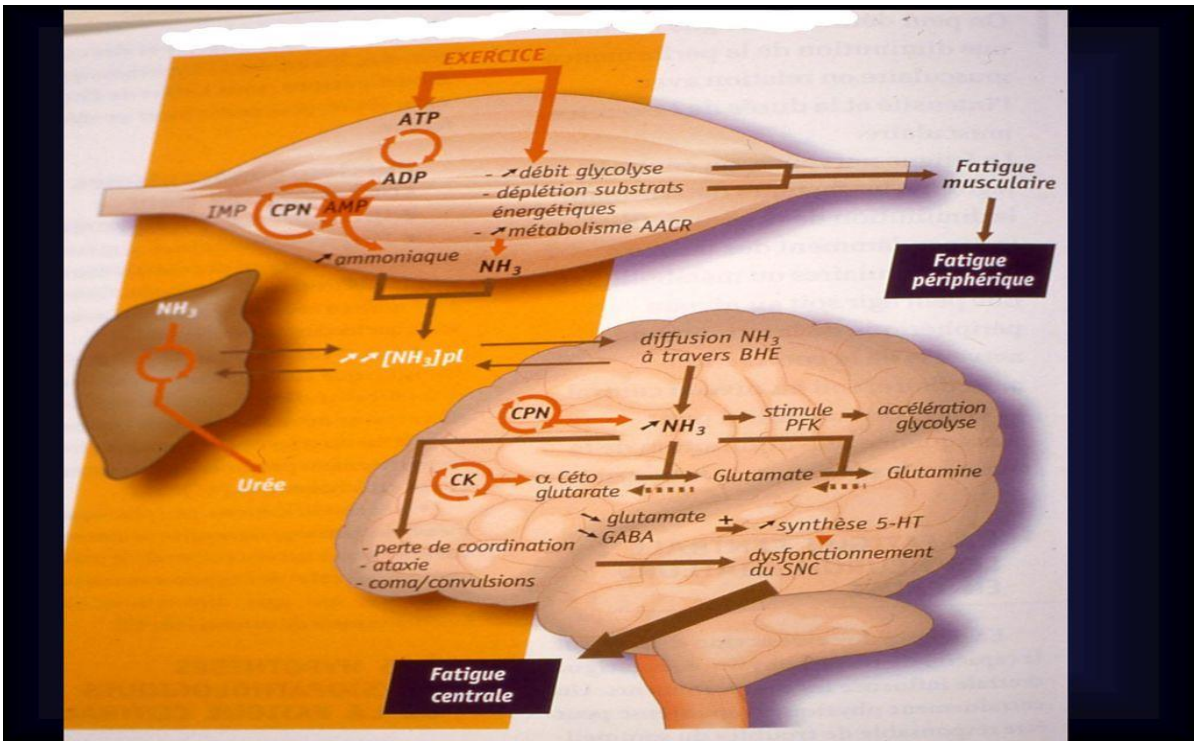
صورة رقم (21): تغير مستويات الغلوتامات في حالة الراحة و عند الوصول إلى حالة الإنهاك بعد جهد بدني مطول على مستوى مناطق مختلفة من الدماغ حسب (Guézennec C.Y et al , 1998) .



صورة رقم (22): تغير مستويات الغلوتامين في حالة الراحة و عند الوصول إلى حالة الإنهاك بعد جهد بدني مطول على مستوى مناطق مختلفة من الدماغ حسب (Guézennec C.Y et al , 1998) .



صورة رقم (23): تغير مستويات حمض الأمينو بوتريك الدماغي (GABA cérébrale) في حالة الراحة و عند الوصول إلى حالة الإنهاك بعد جهد بدني مطول على مستوى مناطق مختلفة من الدماغ حسب (Guézennec C.Y et al , 1998) .



صورة رقم (24): آلية تدخل كل من الأمونياك الدماغي (NH 3) و حمض الأمينو بوتريك في حدوث التعب المركزي (Cazorla G, 2005- 2006).

6-3 أيض السكريات (le métabolisme glucidique):

في الراحة العمليات الأيضية الدماغية ترجع رئيسيا إلى أكسدة السكريات، استخدام المواد الطاقوية الأخرى (أحماض ذهنية، احماض آمينية) يكون بكمية أقل (Dalsgaard M.K et Secher N.H, 2007). كذلك من الممكن أن نحدد النسبة الأيضية الدماغية (RMC) ب6، نظرا لأن المخ يستخدم جزيئة الأكسجين من أجل 6 جزيئات كربون الأساسية للغلوكوز. من جهة أخرى محتوى الفوسفوغيل كرياتين و الجليكوجين يكون محدود على مستوى الدماغي. كذلك استخدام الأكسجين ضروري في وظائف الخلايا العصبية، التي ترتكز أساسا على كمية الغلوكوز القليلة. من المهم أن نشير إلى أن الجليكوجين أساسا يكون محبوس في الاستروسيت التي تشكل حوالي نصف الحجم الدماغي.

أشار كل من (Brown et coll, 2003) إلى أن نفاذ الجليكوجين من خلايا الاستروسيت يمكن أن يصل إلى مستوى حرج أثناء حدوث التعب المركزي . انخفاض السكر يعتبر كسبب لحدوث التعب المركزي (Coyle, Coggan et coll, 1986) و أكثر من ذلك تأثير ضار على وظائف الجهاز العصبي المركزي. المثال الكلاسيكي الذي لوحظ حدث للعداء (قريتا واتز) في الالعاب الأولمبية لوس أنجلس 1984 حيث دخل بترنح و تمايل و سقط قبل خط الوصول بسبب انخفاض السكر. كما لاحظ كل من (Naybo et coll, 2003) أن انخفاض نسبة السكر الحاصل بسبب التمرينات المطولة لمدة 3

ساعات على دراجة إرجومترية عند شدة 60% من VO2max يخفض بشدة من العمليات الأيضية للدماغ (RMC)و يرفع بطريقة ملاحظة (18\20%) لنسبة حدوث التعب عند التمرينات (Poortmans J.R et boisseau N, 2009, P 543).

7-3 محتوى الأكسجين (l'apport en oxygène):

الكتب الكلاسيكية الفزيولوجية العضلية عامة تعطي نتيجة على أن محتوى الاكسجين يبقى ثابت أثناء التمرينات العادية . نظرية التعب المركزي تشير إلى أن نقص أو العجز في الأكسجين يمكن أن يطبق أيضا في آليات انخفاض نشاط العصبونات، تدفق الدم الدماغي يقسم بطريقة غير متجانسة و يرجع ذلك رئيسيا إلى نشاط مختلف مناطق المخ (Naybo L et Rasmussen P, 2007).

هذا التدفق يرتفع في المنطقة الحركية بسبب تحفيز التمرينات الحركية، تدفق الدم ينخفض في المناطق الغير نشطة و يتراجع إلى مستوى قبل التمرينات عند الراحة في منطقة عصبونات القشرة الحركية، بالتالي فإن النقص في مستوى تدفق الأكسجين على مستوى المناطق الدماغية يعتبر من بين أسباب حدوث التعب المركزي.

4- النقل العصبي (La transmission nerveuse):

الآليات الأولية الأولى التي تحدث على مستوى اللوحات المحركة و التي تؤدي إلى حدوث اضطراب في النقل العصبي إلى الألياف العصبية ترجع إلى عدة عوامل هي (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 129):

- انخفاض في تحرير و تصنيع الاستيل كولين وهو الوسيط الناقل المسؤول عن انتقال السيالة العصبية من الأعصاب الحركية إلى الأغشية العضلية .
- فرط في نشاط انزيم الكولينستراز المسؤول عن هدم الاستيل كولين، وهذا يؤدي إلى تخفيض تركيز الاستيل كولين على مستوى اللوحات المحركة، و هذا يخفض من إمكانية حدوث موجة كمون العمل .
- انخفاض نشاط إنزيم الكولينستراز و هذا يؤدي إلى حدوث العكس وذلك بتراكم الاستيل كولين بفرط وهذا يحدث عجز على مستوى الألياف العضلية .
- زيادة مستوى عتية تنبيه و تحفيز الألياف العضلية .
- تدخل بعض المواد المنافسة للأستيل كولين من الممكن أن ترتبط مع مستقبلات الاستيل كولين وعدم قدرتها على تحفيز أو تنشيط الغشاء العضلي
- تحرير البوتاسيوم خارج الوسط العضلي مما يخفض من نصف كميات حدوث موجة كمون العمل الغشائي.

- من الممكن أن يحدث التعب أيضا بسبب حجز و حبس الكالسيوم في القنوات المستعرضة، مما يخفض من نسبة الكالسيوم المتاحة من أجل عملية التقلص العضلي .

قائمة المراجع

- **Allen, D.**G., Lamb, G.D., Westerbland, H.(2008). Skeletal muscle fatigue : cellular mechanisms. Physiol Rev. 88 :287-332.
- **Bainbbridge, F. et A (1931).** The physiology of muscular Exercicse. London, Longmans, Green et Co.
- **Bigland-Ritchie, B., Jones D.A ,. Hosking G.B., Edwards R.H. (1978).** Central et peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contaractions of human quadriceps muscle. Clin.Csi. mol. Med.54 :609-614.
- **Bigland-Ritchie, B. (1984).** Muscle fatigue et the influence of changing neural drive. Clin. Chest Med.5 :21-34.
- **Beker, A.**G., Carson, P.J., Miller R.G., Weiner M.W. (1994). Metabolic et nonmetabolic components of fatigue monitored With ^{31}P-NMR. Muscle et Nerve 17 :1002-1009.
- **Cazorla G**,: fatigue et surentrainement, cours master 2, Association pour ma recherche et l'évolution en activité physique et en sport, Année 2005-2006.
- **Costil, D.**L. (1986). Inside running : Basics of sports physiology. Indianapolis : Benchmark Press.
- **Dalsgaard,. M.K et Secher N.H . (2007).** The brain at work : a cerebral metabolic manifestation of central fatigue. J Neurosci. Res.85 :3334-3339.
- **Enoka, R.M. et Duchateau, J. (2008).** Muscle fatigue :what, why et how it influences muscle function. J.Physiol.72 :1631-1639.

- **Edwards, R. (1983).** *Biochemical bases for fatigue in exercise performance: Catastrophe theory in muscular fatigue.*: Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- **Fabiato, A.** et Fabiato.F (1978). Effects of PH on the myofilaments et the sarcoplasmic reticulum of skinned cells from cardiac et skeletal muscles. J.physiol. (london)276 :233-255.
- **Fitts.**R.H. (2004). Mechanisms of muscle fatigue. Basel, Karger.
- **Fitts, R.H. (1996).** Cellular, Molecular, et metabolic basis of muscle Fatigue. Handbook of physiology. Section 12 : Exercise. Regulation et integration of multiple systems.L.B. Rowell et J.T. Shephered. Oxford, oxford university Press : 1151-1183.
- **Hermansen L. (1977) -** Facteurs limitants intervenant au cours de l'exercice maximal de duree breve. C. R. Colloque Saint Etienne.
- **Guézennec, C.Y .(2000).** La fatigue centrale : éléctrophysiologique ou neurochimique. Science et sports 15 :228-233.
- **Guézennec,. C.Y, Abdelmalki A, Serrurier B, Merino D, Bigard X, Berthelot C, Pierard C, Peres M.(1998).** Effects of prolonged exercicse on brain ammonia et amino acids. Int. J. Sports Med.10 : 323-327.
- **Kammermeier, H . (1987).** Why do cells need phosphocreatine et a phosphocreatine shuttle. J.mol. Cell. Cardiol. 19 :115-118.
- **McComas, A.J. (1996).** Skeletal Muscle. Forme y fonction. Champaign (USA), Human Kinetics.
- **Meeusen,R. et DeMeileir K. (1995)** .Exercise et Brain neurotransmission. Sports Med. 20 : 160-188.
- **Mourot L.** Fatigue Musculaire & Activité Physique, UE 6B Prévention et traumatologie du sportif.
- **Naybo, . L et Rasmussen .P.(2007).** Inadequate cerebral oxygen delivery et central fatigue during strenous exercise . Ex. Sport Sci. Rev.35 :110-118.

- **Nielsen, B., Hylding. T, Bidstrup F., Gonzalez-Alonso. J., Christoffersen. G.R.(2001).** Brain activity et fatigue during prolonged exercise in the heat. Pflugers Arch. 442 : 41-48.
- **Pasquet, B.**, Carpentier A. et coll. (2000). Muscle fatigue during concentric et eccentric contraction. Muscle et Nerve 23 :1727-1735.
- **Poortmans J.R, Boisseau N**, biochimie des activités physiques et sportives, collection sciences et pratiques du sport, Ed de Boeck, paris, 2009.
- **Randall, D. J., Burggren, W. W., French, K., & Eckert, R. (2002).** *Eckert animal physiology: Mechanisms and adaptations*. New York: W.H. Freeman and Co.
- **Sesboué B, Guincestre J.Y,(2006)** . la fatigue musculaire, ScienceDirect, Volume 49, Issue 6, July 2006, Pages 257-264.
- **Sjogaard, G. (1991).** Role of exercise-induced potassium fluxes underlying muscle fatigue : Can. J. Physiol. Scand. 156 :257-264.
- **Sahlin, K.**, Palmskog G, Hultman E. (1978). Adenine nucleotide et IMP contents of the quadriceps muscle in man after exercise. Pflugers Arch.374 : 648-654.
- **Taylor, J. L., et Gandevia S.C. (2001).** Transcranial magnitic stimulation et human muscle fatigue. Muscle et Nerve 24 :18-29.
- **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.
- **Westerbland, H.**, Allen D.G., Bruton J.D., Andrade F.H., Lannergren J. (1998). Mechanisms underlying the reduction of isometric force in skeletal muscle fatigue. Acta physiol. Scand. 162 : 253-260.

المحور الثالث:

فرط التدريب

(le surentrainement)

1-تعريف فرط التدريب (Définition du surentraînement):

يتميز فرط التدريب بتعب متزايد الذي يؤثر على بطريقة تدوم أكثر أو أقل. يبدو أن الإفراط في التدريب ناتج عن التدريب المكثف للغاية أو مع أوقات الاسترجاع الغير كافية أو كليهما. يرتبط فرط التدريب بمظاهر أو أعراض مرضية مختلفة. (Goussard, J.P, 1999, P 4).

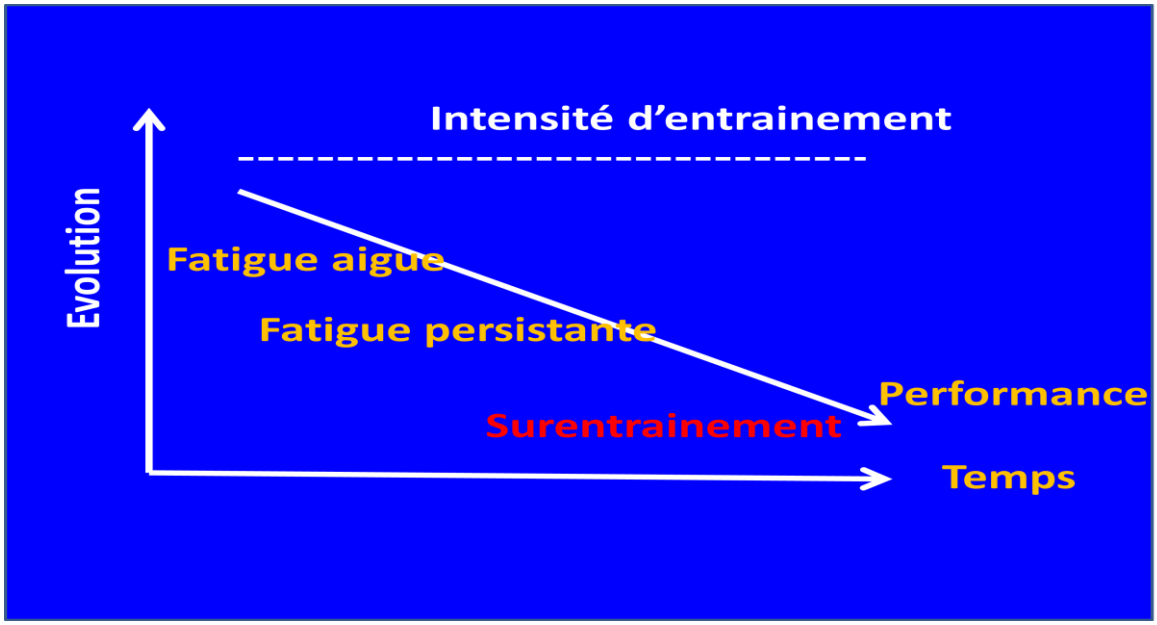
فرط التدريب هو تعب مستمر يحدث بعد حمل زائد بدني أو عقلي .

فرط التدريب هو حدوث اختلال أو اضطراب في الإفراز العصبي الهرموني ويظهر ذلك في انخفاض مستوى التفوق الرياضي في المنافسة، عدم القدرة على إنجاز حمولة التدريب الاعتيادية، حدوث تعب مستمر، انخفاض في إفراز الكاتي كولامين، حدوث مشاكل صحية، اضطراب في النوم و المزاج .(MacKinnon L.T, 2000)

فرط التدريب = تدريب مفرط أو زائد مع استرجاع غير كافي من أجل حدوث التكيفات المفيدة\ آليات الهدم أكبر من > آليات البناء (التخزين) (Mourot L ,2006).

2- تأثير فرط التدريب (Incidence du surentraînement):

- ❑ هو مشكل كبير لدى رياضيي التحمل.
- ❑ فرط التدريب يصيب عامة 65% رياضيي التحمل خلال مدة معينة أو خلال الحياة الرياضية .(McKenzie D.C , 1999)
- ❑ فرط التدريب يحدث لدى رياضي المستوى العالي حيث يعتبر السبب الرئيسي للإصابات (Pen . (L.J et al., 1996



صورة رقم (01): تطور حالات التعب من التعب الحاد إلى المزمن وصولا إلى فرط التدريب .(Mourot L, 2006)

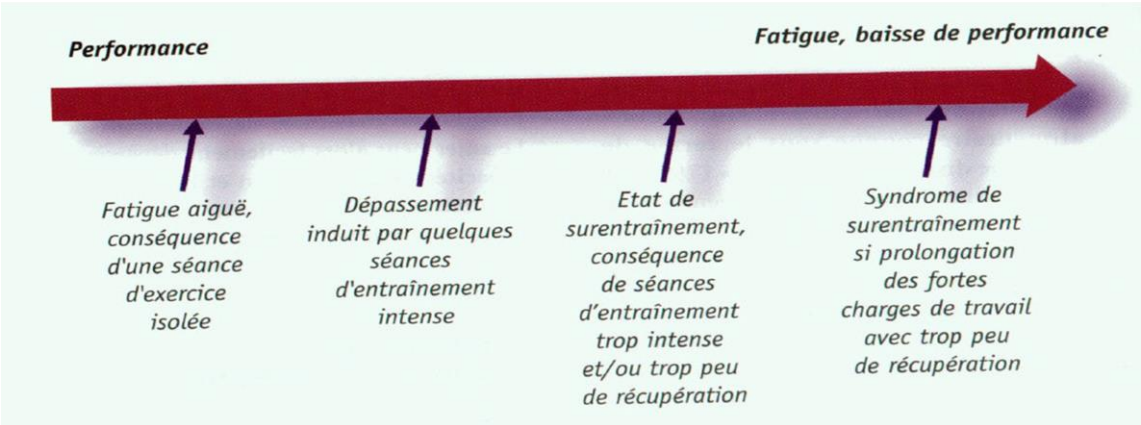
3- أسباب حدوث فرط التدريب (les causes de surentraînement) Gazzano F, 2003,) (P05 **:**

- حمولة التدريب الشاقة و المفرطة و الاسترجاع الغير كافي (السبب الرئيسي)
- عدم تنوع حمولة و نوع التدريب .
- المنافسات ذات المستوى العالي (التفوق في أعلى صفاته و أعلى شدة) .
- مشاكل صحية (الزكام، التسممات، الحساسية...الخ) .
- التغذية الغير ملائمة (نقص الماء، السكريات، الافتقار إلى المواد الغذائية الدقيقة مثل (الحديد...الخ) أو المحتوى الطاقوي الغيركافي .
- الإرهاق النفسي (المدرسة، العمل، العائلة ...الخ) .
- الإرهاق المحيطي الغير إعتيادي (البرد، الحرارة، المرتفعات، الرطوبة... الخ) .
- نقص النوم

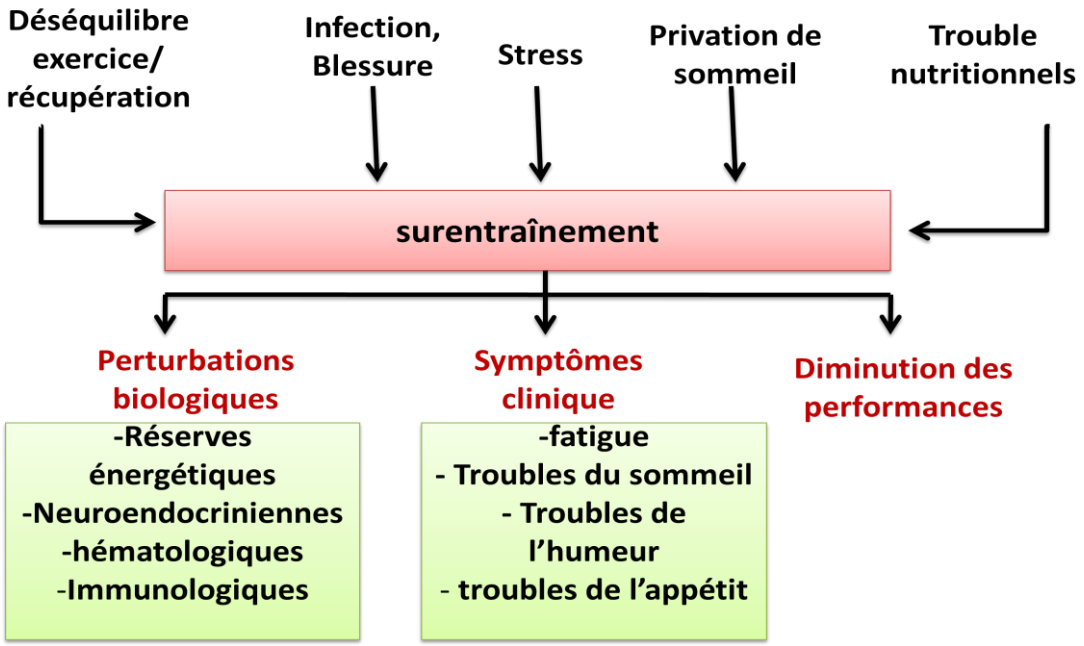
الأسباب التي يرجع إليها حدوث الإرهاق غالبا ترجع إلى عدم التخطيط و التسيير الجيد لحمولة التدريب و يظهر هذا في (Krattinger B):

- ❖ الرفع النوعي و الكمي السريع .
- ❖ الاسترجاع الغير كافي .
- ❖ المتطلبات التقنية الجد مرتفعة \حركات صعبة\ عدم القدرة على المعالجة.
- ❖ كثرة المنافسات مع استرجاع غير كافي .

يلاحظ فرط التدريب بعد :



صورة رقم (02): تطور مختلف مؤشرات فرط التدريب بدءا من التعب الحاد و صولا إلى أعراض فرط التدريب المزمن.



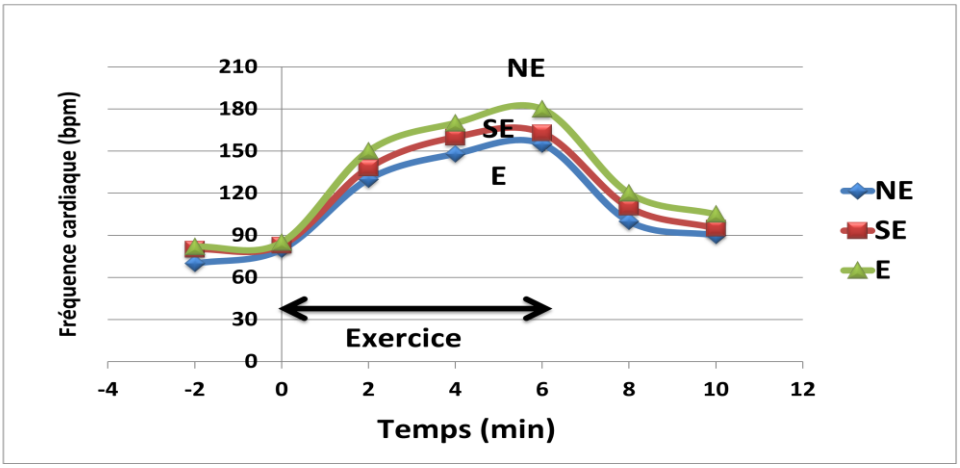
صورة رقم (03): مختلف العوامل التي تؤدي حدوث فرط التدريب .

4-مؤشرات وعلامات حدوث فرط التدريب (Signes et symptômes du surentraînement)

:(Gazzano F, 2003, P06)

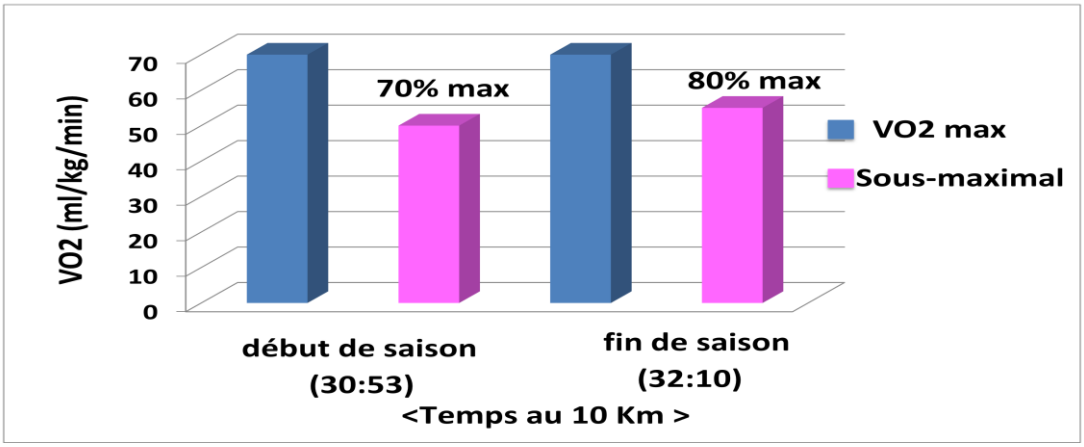
- انخفاض في القوى و حدوث إعياء نفسي.
- فقدان التحفيز لعملية التدريب أو الجهد للمنافسة.
- زيادة مستوى القلق و سرعة الغضب .
- انخفاض قدرات التركيز.
- مدة استرجاع متزايدة.
- الشعور بالنوم.
- حدوث إضطراب في النوم و المزاج.
- التعب الزائد .
- ثقل في الساقين .
- حدوث تسممات (زكام، ذبحة لوزية...الخ).
- انخفاض في الشهية \ فقدان الوزن .
- ارتفاع في النبض القلبي عند الراحة.
- ارتفاع في الضغط الشرياني.
- عادة شهرية غير منتظمة.

Variation de la fréquence cardiaque lors d'un même exercice standardisé sur tapis roulant, avant entrainement (NE), après entrainement (E) et en phases de surentrainement (SE)



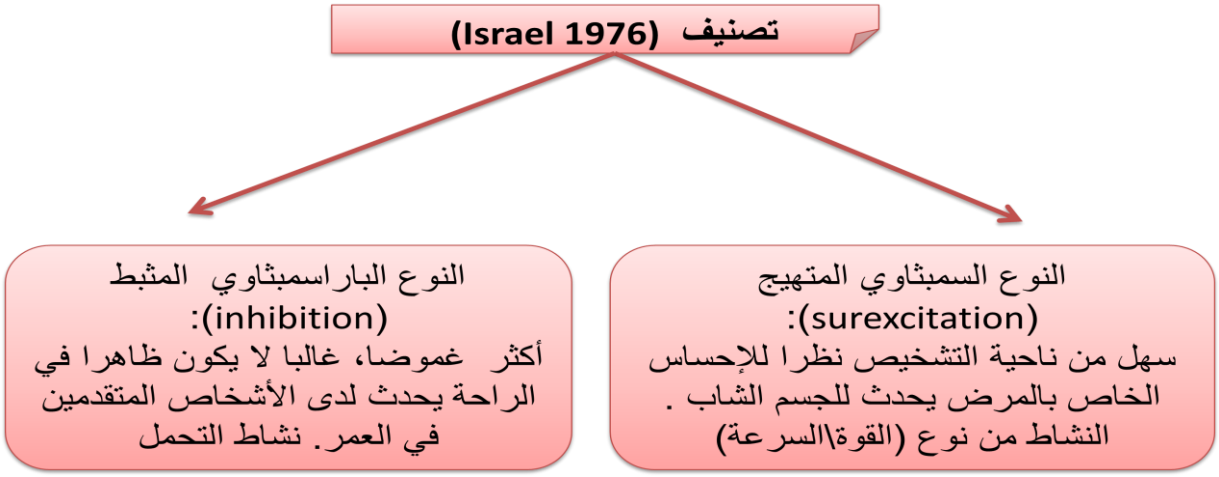
صورة رقم (04): تغيرات النبض القلبي عند نفس شدة التمرين على بساط الجري، قبل التدريب (NE)، بعد التدريب (E)، و خلال مرحلة فرط التدريب (SE) (Wilmore J.H, Costil D.L, 2006, P328).

Variation de la consommation d'oxygène et de la performance sur 10 Km d'un coureur en état de forme (début de saison), et en état de surentrainement (fin de saison) . La VO2max ne varie pas au cours de la saison , mais la VO2 nécessaire pour courir les 10 km est augmenté , cette dernière correspond à 70% de VO2max en début de saison et 80% de VO2max en fin de saison lorsque le sujet et surentrainé

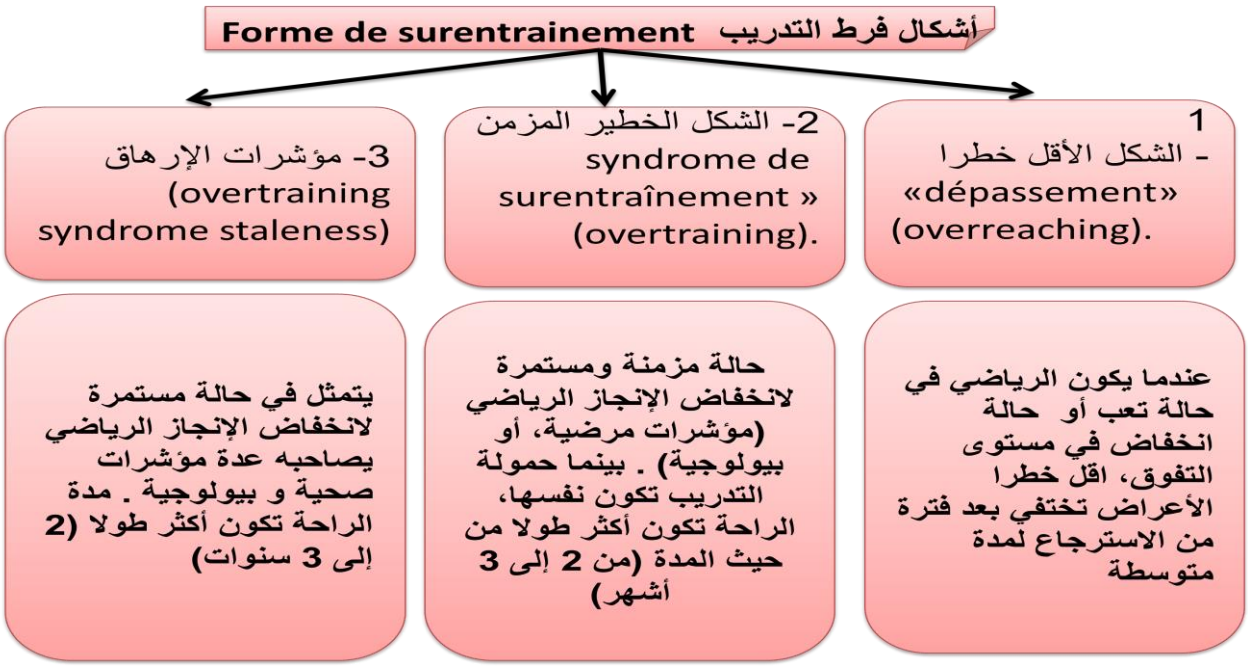


صورة رقم (05): تغيرات استهلاك الأكسجين و الأداء الرياضي لدى عداء عند مسافة 10 كلم في لياقة بدنية جيدة (بداية الموسم)، و في حالة فرط التدريب (نهاية الموسم) . الاستهلاك الأقصى للأكسجين VO_2max لا يتغير خلال الموسم، ولكن حجم الأكسجين المتطلب من أجل جري مسافة 10 كلم يرتفع، هذا الأخير يمثل 70% من الحجم الأقصى للأكسجين VO_2max عند بداية الموسم و 80% من الحجم الأقصى للأكسجين VO_2max عند نهاية الموسم أين يكون الرياضي في حالة فرط التدريب (Wilmore J.H, Costil D.L, 2006, P328).

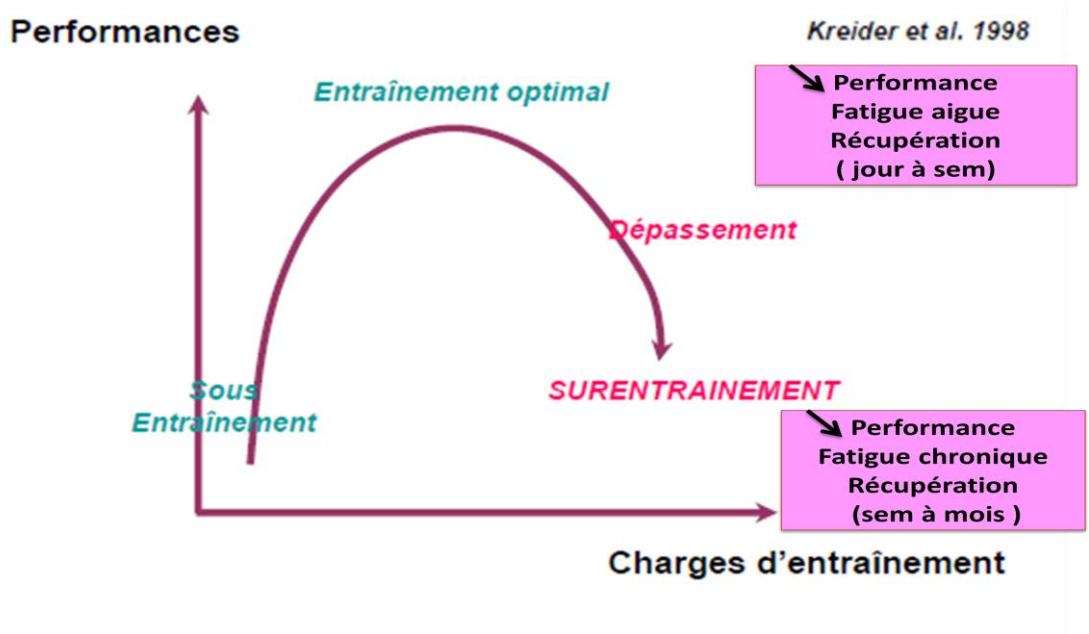
5- تصنيف فرط التدريب (Classification de surentrainement):



صورة رقم (05): مخطط يوضح مختلف حالات تصنيف فرط التدريب حسب (Israel, 1976) (Mourot L, 2006).



صورة رقم (06): مختلف أشكال فرط التدريب، (1) Le dépassement (overreaching)، (2) Le surentraînement (overtraining) (3) ، Le syndrome du surentraînement ((overtraining syndrome staleness (Goussard, J.P, 2009, P 04).



صورة رقم (07): مراحل الوصول إلى حالة فرط التدريب حسب (Kreider R.B et al, 1998).

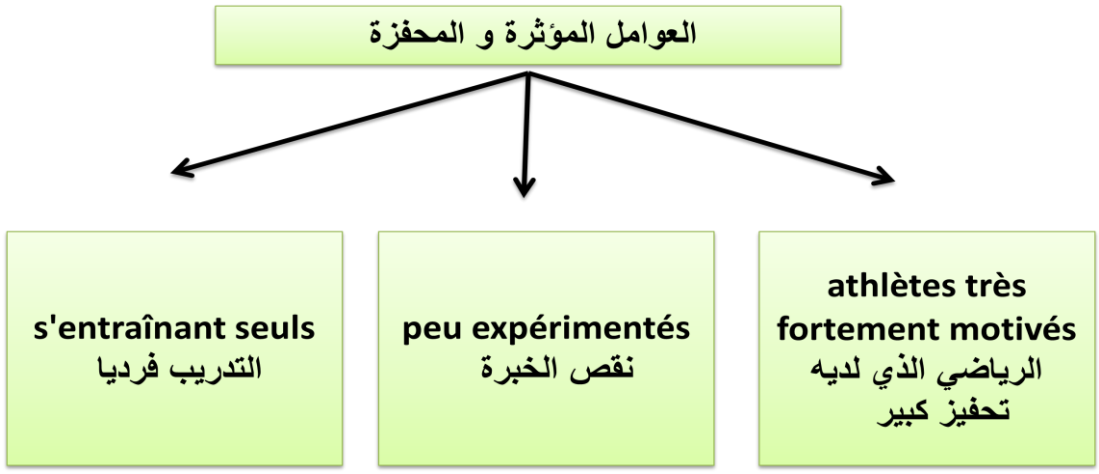
جدول رقم (01): أعراض و مظاهر فرط التدريب حسب (Israël , 1976).

الإرهاق	
البراسمبثاوي	السمبثاوي
قابلية التعب السهل (غير عادي)	قابلية التعب السهل
التثبيط	التحفيز
نوم عادي	إضطراب في النوم
شهية طبيعية	انخفاض في الشهية
وزن الجسم ثابت	فقدان وزن الجسم
تعديل حراري عادي	التوجه نحو التعرق، عرق غزير
نبض بطيء	خفقان، ضغط، آلام في القلب، نبض سريع
عمليات أيضية عادية	عمليات أيضية متزايدة
درجة حرارة جسمية عادية	درجة حرارة جسمية مرتفعة جزئيا
عودة الدورة بسرعة بعد الجهد	حدوث صداع في الرأس

Sous et après charge, Fréquemmentقبل و بعد الحمولة، غالبا ارتفاع في الضغط الدموي السيستولي 100 < torr (mm de Hg)	ضغط دموي غير مستقر ولا نموذجي
عدم وجود صعوبة في التنفس	تنفس غير عادي تحت تأثير حمولة التدريب
إنجاز الحركي صعب و ضعيف التنسيق	ملاحظة حبوب حمراء في الجلد
زمن رد الفعل طبيعي	زمن رد الفعل مختصر ولكن عدد من ردود الفعل خاطئة
قدرة الاسترجاع حسنة إلى جد حسنة	استرجاع متأخر
هدوء ،و مزاج طبيعي	إنجاز حركي أقل تنسيقا
انخفاض النبض القلبي في الراحة	عودة بطيئة للنبض القلبي في الراحة بعد الجهد
انخفاض الضغط الشرياني في الراحة	حدوث ارتجاف و ارتعاش
	فرط الحساسية خاصة السمعية
	تهيج داخلي، انفعال، سرعة الغضب، انهيار عصبي

6- أعراض المتعددة لفرط التدريب (Multiples symptômes):

6-1الجوانب النفسية و السلوكية (Les aspects psycho-comportementaux):



6-1-1 المؤشرات النفسية و السلوكية (Les signes psycho-comportementaux):

المجال الجسدي: تغيير في الحالة العامة، اضطراب في الهضم، النوم، اضطراب في النشاط الجنسي، تعب عضلي و حسي .

المجال الفكري: اضطرابات الإدراك الحسي، والتعب الذهني .

المجال النفسي و العاطفي : صعوبة الاتصال، والتغيرات في الحالة العاطفية، تغيرات في المزاج، والتغيرات في حالة القلق.

المجال الإرادي: نقصان في الإرادة و حدوث اضطرابات في الشخصية .

2-6 العوامل المناعية والضعف ضد التسممات (Les aspects immunitaires et la fragilité aux infections):

- الجهاز المناعي (البكتيريا، الفيروسات، الطفيليات، الخلايا السرطانية)

↓ الدفاع في حالة الإرهاق: حساسية الرياضي للتسممات (الحد من القوة الدفاعية للجهاز المناعي)

- التسممات في المجاري التنفسية ، بطء إلتئام الجروح، مرض الهربس ...الخ.
- انخفاض في عناصر الجهاز المناعي يعكس التأثير بسبب التمرينات، ولكن ليس بالضرورة الإرهاق .(McKinnon L.T, 2000).

3-6 العوامل اللاإرادية (Les aspects neurovégétatifs):

1-3-6 الشكل السمبثاوي (La forme sympathique) :

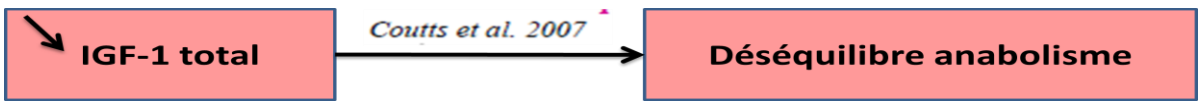
- زيادة النبض القلبي في الراحة.
- انخفاض الوزن.
- اضطراب في النوم.
- فقدان الشهية .
- عدم الاستقرار.

2-3-6 الشكل البارسمبثاوي :

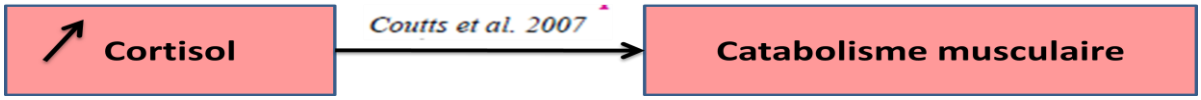
- انخفاض في النبض القلبي.
- نقصان في الضغط الشرياني.
- اضطراب في الهضم خاصة لدى رياضيي التحمل.

4-6 العوامل الخاصة بالغدد الصماء (Les aspects endocriniens) (Coutts A et al, 2007):

- الإرهاق يثبط إفراز هرمون النموGH .
- من المفروض ارتفاع إفراز IGF-I بسبب النشاط البدني .
- حالة الالتهاب تخفض من هرمون IGF-I، الإرهاق يمكن أن يصاحبه انخفاض في قيمIGF-I .



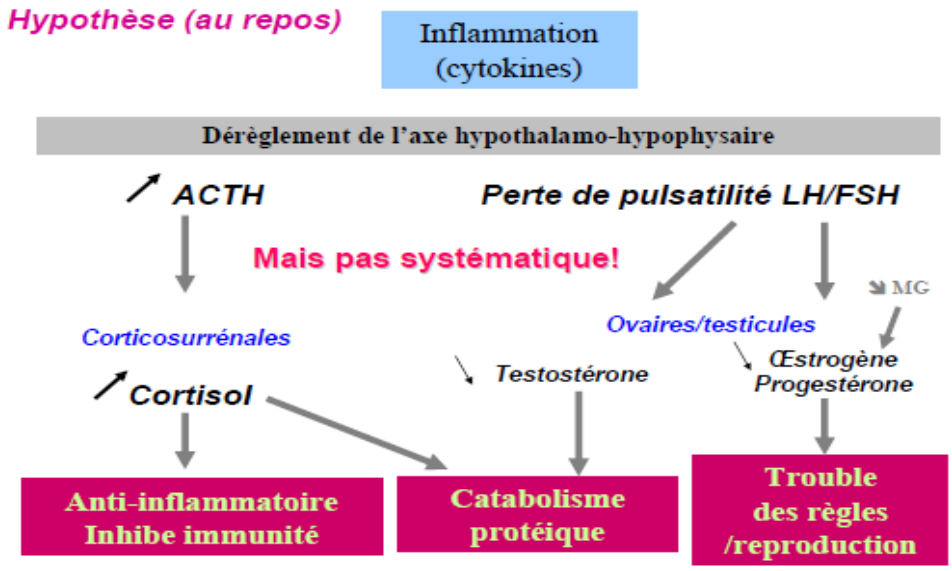
- الإرهاق يرفع من إنتاج الكورتزول، ويثبط استجابة هرمون ACTH.
- الإرهاق ومحور الغدد الجنسية لدى الإنسان انخفاض التستستيرون.
- انخفاض الثيروكسين.
- انخفاض في إفراز هرمون البرجستيرون لدى المرأة خلال المرحلة الثانية من الدورة.
- ارتفاع مستويات الأدرينالين و النورادرينالين، النوريبيرفيرين، الدوبامين (زيادة النبض القلبي و الضغط الشرياني) .



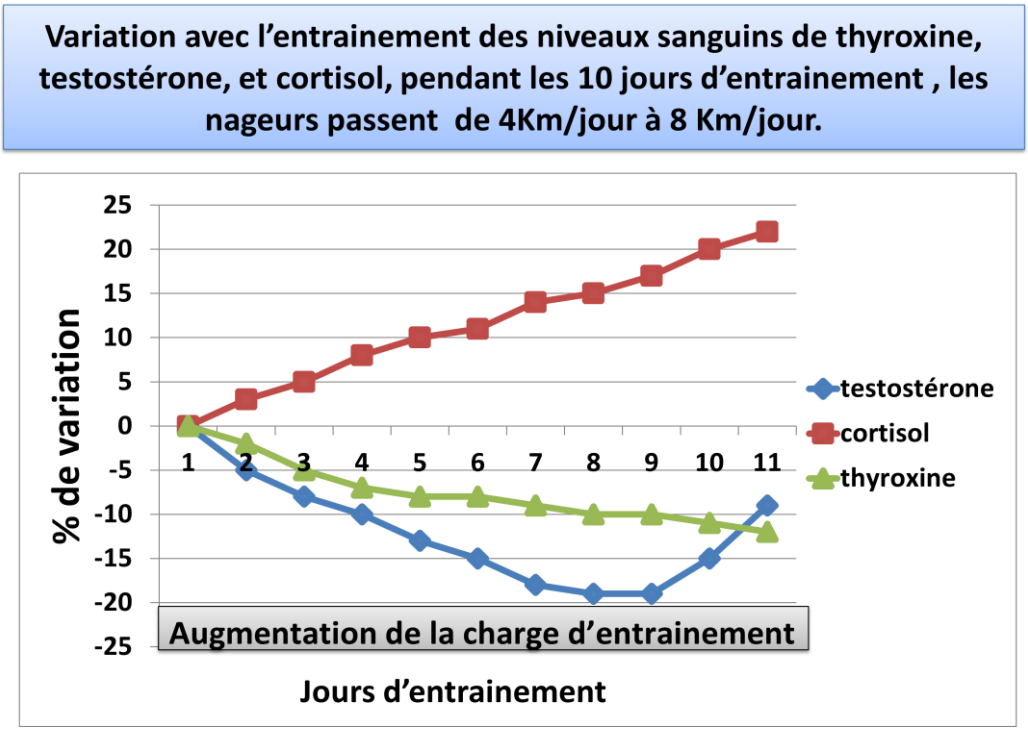
مجموعة من الدراسات توصلت إلى انخفاض في مستويات التستستيرون لدى الإنسان تحت تأثير التدريب الشاق (Hackney A.C.et al, 1988). لدى النساء الرفع من كمية العمل العضلي ينتج عنه كذلك تغير في حالة الهرمونات الستيرويدية (الجنسية) وأكثر وضوحا هي انخفاض إفراز البروجستيرون خلال المرحلة الثانية من الدورة الشهرية (مرحلة الجسم الأصفر قصيرة) .

انخفاض في مستوى الهرمونات الجنسية يعتبر كمؤشر على حالة الإرهاق لدى الرياضيين، حيث تؤدي حالة الإرهاق إلى التأثير على حساسية المحور (منطقة تحت المهاد-الغدة النخامية) من جهة، و انخفاض في مستويات إنتاج الكاتي كولامين . حيث أن مختلف وظائف الغدة النخامية تتغير تحت تأثير الإرهاق .

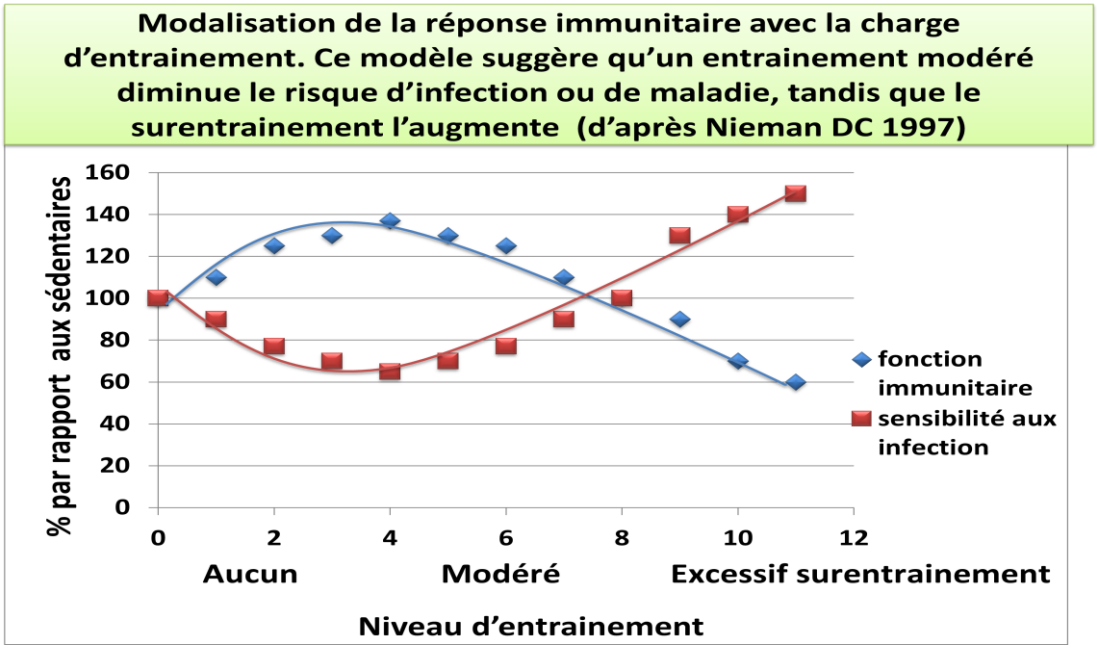
في حالات التدريب الشاق يمكن أن يحدث إنخفاض في نشاط و تحفيز في حلقة التنظيم بين إنتاج الكورتزول و العلاقة الرجعية بين محور تحت المهاد- الغدة النخامية. من جهة أخرى حاليا تم التأكد التغير في وتيرة محور القشرة الكظرية يؤثر على العمل الأيضي لهرمون الليبتين. وبالتالي يمكن أن نضع فرضية أن انخفاض حساسية المحور تحت المهاد-الغدة النخامية أثناء حدوث الإرهاق يؤدي إلى انخفاض في التركيز الدوري لهرمون الليبتين (Guezennec C.Y, 2003) .



صورة رقم (08): تأثير الالتهابات على محور منطقة تحت المهاد- الغدة النخامية (حالة فرط التدريب) (Adlercreutz, H et al, 198) .



صورة رقم (09): التغيرات مع التدريب في الدم لكل من هرمون الثيروكسين، التستيستيرون، و الكورتزول خلال 10 أيام من التدريب، حيث قام السباحين بقطع مسافة 4 كلم في اليوم و صولا إلى 8 كلم في اليوم. مستوى الكرتزول في الدم يرتفع بينما تركيز الثيروكسين و التستيستيرون ينخفض إلى حد كبير مع زيادة مسافة التدريب (Wilmore J.H, Costil D.L, 2006, P324).



صورة رقم (10): تعديل الإستجابة المناعية مع حمولة التدريب. هذا النمط يشير أن التدريب المعتدل يخفض من خطر التسممات أو الأمراض، بينما فرط التدريب يرفع من ذلك (Nieman D.C, 1997).

6-5 العوامل الأيضية (Les aspects métabolique):

- ❑ نفاذ مخزون الجليكوجين مقترح من أجل تفسير الإرهاق. النفاذ السريع ينتج عنه حدوث التعب.
  - ➢ انخفاض مستويات السكر Les hypoglycémies d'effort يسبب:
    - ❑ يؤدي ذلك إلى التعب و توقف التمرين.
    - ❑ زيادة مستوى العمليات الأيضية القاعدية
    - ❑ انخفاض التعديل الحراري أثناء التمرينات في الأجواء الباردة.
    - ❑ إمكانية تحفيز التمزقات العضلية.
    - ❑ زيادة مستويات العطش و الطرح البولي .

تخلق عملية التدريب آليات مقاومة لانخفاض مستويات السكر (l'hypoglycémie-)، آلية مقاومة انخفاض مستوى السكر يمكن أن يحدث لها خلل عند حدوث فرط التدريب الرياضي نظرا لأن نظام الهرمونات المسؤول عن رفع مستويات السكر (l'hyperglycémiantes) ما يسمى ضد التعديل (contre régulation) يحدث له اضطراب.

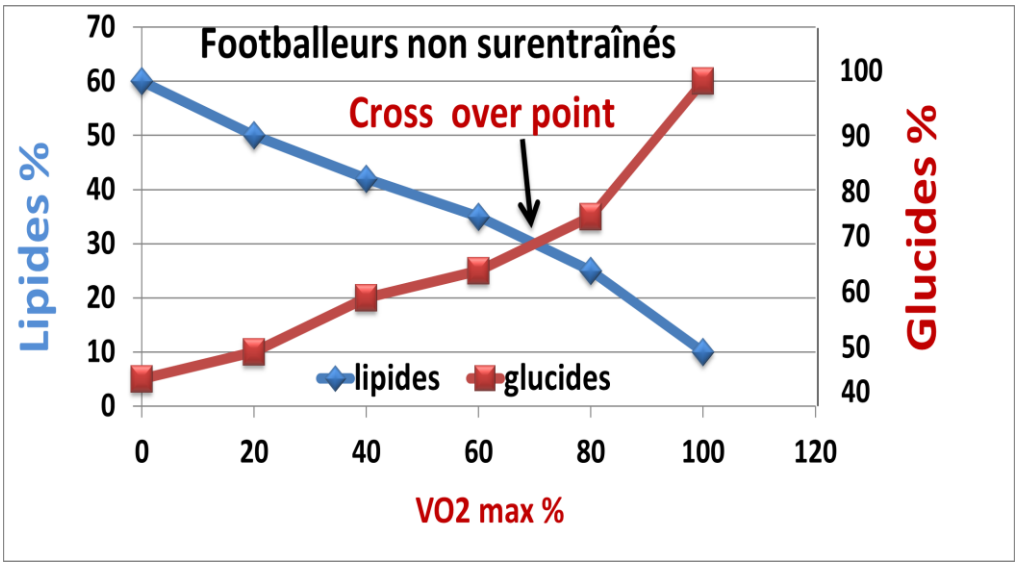
تمرين عند شدة 45% من VO2 max إستخدام الدهون تمرين عند 75% من VO2max استخدام الكربوهيدرات "نقطة العبور": « Cross over point » هي شدة التمرين التي عن طريقها قدوم الطاقة المستخدمة من الكربوهيدرات بكثرة مقارنة بالطاقة القادمة من أكسدة الدهون .

الأعمال التي قام بها (COSTILL, D.L. et al , 1988) اكتشفت أن تكرار التمرينات الشاقة لعدة أيام متتابعة ينتج عنه انخفاض في تركيز الجليكوجين العضلي، كما تم التوصل إلى أن الرياضي الغير قادر على المحافظة على المخزون الطاقوي لديه أعراض حدوث الإرهاق. هذا الانخفاض في مخزون الجليكوجين يخفض من إمكانية توفر السكريات المستخدمة أثناء التمرين البدني .

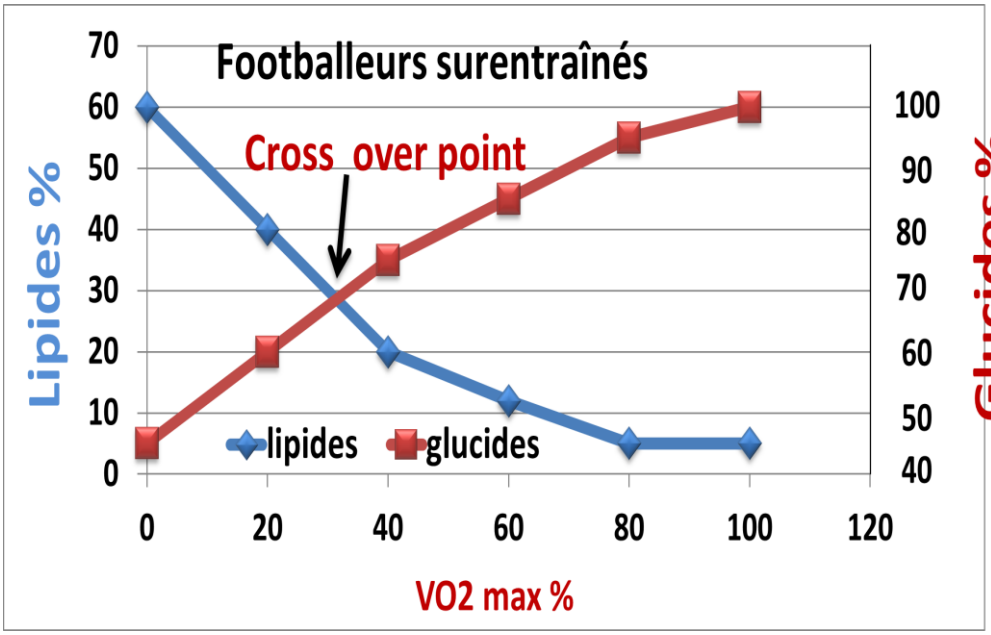
من جهة أخرى يحدث تغير في العمليات الأيضية الطاقوية بسبب انخفاض في نسبة السكريات المتاحة وهذا يؤدي إلى استخدام المواد الطاقوية الدهنية و البروتينية. استعمال هذه المركبات الطاقوية بكثرة يؤدي إلى حدوث آليات التعب . العلاقة الموجودة بين التعب والعمليات الأيضية للبروتينات تتأسس على وجود رابطة بين أيض الأحماض الآمينة المستخدمة كمركب طاقوي و توفر بعض النواقل العصبية المركزية (neuromédiateur) المطبقة في التعب (Chaouloff F. 1989).

العملية الأيضية الأخرى التي تستخدم مكان السكريات هي الدهون هذا الانتقال الإيضي يؤدي إلى انخفاض قدرات العمل البدني الأقصى، هذه الظاهرة ترجع إلى انخفاض الفعالية في أيض الدهون مقارنة بالسكريات وهذا يفسر بنقصان الفعالية الطاقوية أثناء الجهد البدني الطويل المسافة أين تكون الدهون المصدر الطاقوي الرئيسي. (Guezennec C.Y, 1992).

كما توجد فرضية أخرى تتأسس على تأثير التمرينات البدنية على هرمون يفرز من طرف الخلايا الذهنية وهو الليبتين (leptine) هذا الهرمون يلعب دورا رئيسيا في تنظيم العمليات الأيضية المحيطية للدهون و الآليات الدماغية للأخذ الغذائي (Hickey M.S., Calsbeek D.J, 2002). عند قياس مستوى هذا الهرمون أثناء التمرينات البدنية المطولة أو عند تكرار هذه التمرينات لمدة طويلة ينتج عنه هدم الدهون (lipolyse) وهنا نضع فرضية أن التدريب الشاق يصاحبه انخفاض في مستوى الليبتين الدوري وكذلك تفاعله في الآليات المركزية للتعب، حيث من الممكن أن نستخدم حركة هذا الهرمون كمؤشر لحالة المخازين الطاقوية وهذا يترجم إلى فقدان التوازن بين الأخذ الغذائي و الصرف الطاقوي .



صورة رقم (11): نقطة العبور أو التقاطع بين استخدام الدهون و السكريات عند مستويات مختلفة من الاستهلاك الأقصى للأكسجين (VO2max) لدى لاعبي كرة قدم ليس لديهم حالة فرط التدريب .



صورة رقم (12): نقطة العبور أو التقاطع بين استخدام الدهون و السكريات عند مستويات مختلفة من الاستهلاك الأقصى للأكسجين (VO2max) لدى لاعبي كرة قدم في حالة فرط التدريب .

ابتداء من هذه النقطة كل زيادة في قوة التدريب زيادة إنتاج الطاقة القادمة من استخدام الكربوهيدرات و انخفاض الطاقة القادمة من أكسدة الدهون.

6-6 العوامل الدموية (Les aspects hématologiques):

- ✓ فقر في الدم = يسبب إنخفاض مستوى التفوق
- ✓ قبل حدوث فقر في الدم نفاذ الحديد يؤدي إلى حدوث الوهن و التعب
- ✓ فقدان الحديد:

- ✓ نزيف في الجهاز الهضمي. زيادة مستوى الحديد.
- ✓ زيادة تركيز الحديد في العرق .
- ✓ تدمير و تمزق الكريات الحمراء .
- ✓ زيادة في لزوجة البلازما و الكسر الحجمي للكريات الحمراء. تجاوز الكسر الحجمي للكريات الحمراء 50% . (hémoconcentration d'effort).

6-7 العوامل المتعلقة بالتغذية (les aspects nutritionnels):

- محتوى التغذية غير كافي من البروتينات و الحديد .
- نقصان في الزنك، انخفاض الزنك زيادة في حدة و مستوى الإرهاق .

❖ **التمرينات ذات الشدة تحت قصوى : عند نفس الحمولة** (Mourot L , 2006).

- ❖ ↑ Fc , ↑ VO2, ↑ VE, ↑ lactatémie
- ❖ ↑ coût en oxygène
- ❖ ↑ courbatures

❖ **التمرينات القصوى انخفاض في مستوى التفوق** (Mourot L , 2006):

- ❖ ↓ VO2max
- ❖ ↓ Lactatémie max
- ❖ ↓ Fc max

7- المعالجة\ الاسترجاع (Traitement/Récupération) (Mourot L , 2006)**:**

- ❑ التخفيض من حمولة التدريب.
- ❑ النوع السمبثاوي : التخفيض من الشدة + حجم العمل صغير.
- ❑ النوع البراسمبثاوي: التخفيض من الحجم + شدة ضعيفة.
- ❑ التنويع لأقصى حد من النشاطات البدنية.

8- الحماية (prévention) (Mourot L , 2006)**:**

- ❖ التنويع في حمولة العمل والتمرينات من يوم لآخر ومن وحدة تدريبية مصغرة لأخرى.
- ❖ الحد من كمية العمل الخاص والمستخدم للجهاز الطاقوي اللاهوائي اللبني.
- ❖ التخفيض الآلي من حمولة التدريب خلال الأسابيع الشاقة (السفر، العمل، الامتحانات، المشاكل العائلية).
- ❖ المحافظة و ضمان تغذية عقلانية مع كميات كافية ومعتبرة.

- ❖ تقدير ومراقبة حمولة التدريب، التعب البدني والنفسي، العوامل المؤثرة على التفوق والإنجاز الرياضي.
- ❖ النوم: يجب أن يكون نوعي و كيفي، حيث يعتبر النوم و الإسترخاء ضروري من أجل تجديد وظائف الجسم و المساهمة في قدرات التفوق البدني و الفكري، هرمون النمو (GH) يفرز أثناء النوم و الذي يلعب دورا هاما لدى البالغين من أجل التجديد و نمو الخلايا.
- ❖ التغذية : التغذية تلعب دورا رئيسي من أجل انتعاش و إسترجاع الوظائف العضوية .
- ❖ العلاج بالمياه المعدنية (La balnéothérapie) : مثل حمامات البخار، الأحواض الساخنة، و الباردة، تطبيق حمام البخار يسمح بالاسترجاع السريع من أجل تنفيذ الجهد على المستوى العضلي و كذلك على المستوى العضمي، المفصلي، الوتري، الغضروفي، الأحزمة و الأربطة، وهذا عن طريق الرفع من نشاط الأوعية الدموية و العمليات الأيضية التي ترجع إلى ارتفاع الحرارة .
- ❖ التدليك: الاستخدام الصحيح لعملية التدليك يمثل استخدام إضافي من أجل زيادة قدرة الإنجاز الرياضي . الهدف من التدليك بعد عملية التدريب يتمثل في التعويض و الاسترجاع السريع للمغذيات.
- ❖ العلاج الكهربائي (électrothérapie) : عن طريق استخدام التيار الكهربائي بوتيرة منخفضة ومكيفة وهذا عن طريق تتابع التقلص و الإسترخاء من أجل التحسين من الضخ و النتيجة هي تسريع عملية الرجوع الوريدي .
- ❖ تقنيات الاسترخاء: توجد طريق مستخدمة لحالات الإسترخاء
- ❖ التمديدات العضلية : نستخدم التمديدات العضلية لهدف الرجوع إلى الحالة الأولية وكذلك من أجل التخفيض من أخطار الإصابات.

قائمة المراجع

- **Adlercreutz H.,M. Härkönen, K. Kuoppasalmi, H. Näveri, I. Huhtaniemi, H. Tikkanen, K. Remes, A. Dessypris, J. Karvonen**. (1986). Effect of Training on Plasma Anabolic and Catabolic Steroid Hormones and Their Response During Physical Exercise, Int J Sports Med; 07: S27-S28
- **Costill, D.L.,. Flynn M.G,. Kirwan J.P.** Effects of repeted days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci. sports Exerc.1988,20,* 249-254.
- **Chaouloff F**, Physical exercise and brain monoamines: a review *Acta physiol. Scand.* 1989, 137,1-13.
- **Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T.J . et Murphy, A**. (2007). Changes in selectedbiochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. lnt J Sport Med, 28(2L 116-124.
- **Hackney A.C., Sinning W.E., Bruot B.C**. Reproductive profiles of endurance trained and untrained males. *Med. Sci. Sports Exercise. 1988, 20, 60-65.*
- **Gazzano F**, Le surentraînement détection et prévention, Préparateur Physique, Université de Moncton, Canada, Copyright , 2003.
- **Guezennec C.Y**. Role of lipid on endurance capacity. *Int. J. of Sport Med. 1992*, 13,114-118
- **Goussard, J.P,** Le Surentrainement Ou Fatigue Chronique, licence 98-99. (C2C-M2). Cours de Hugues PORTIER , 2009.
- **Krattinger B**, Le Surentraînement, Définition, Prévention, Détection, Traitement, Consulting sportif bisontin.
- **Kreider, R. B., Fry, A. C., & O'Toole, M. L.** (Eds.). (1998). *Overtraining in sport.* Human Kinetics.

- **MacKinnon, L.T** (a): Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes; Immunol Cell Biol 2000 Oct;78(5):502-9.
- **Mourot L** , Détection du surentraînement Intérêt de l'étude du système neurovégétatif, UE 6B Licence Entraînement Sportif, Prévention et traumatologie du sportif . (2006).
- **MacKinnon LT** (a): Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes; Immunol Cell Biol 2000 Oct;78(5):502-9.
- **McKenzie, D.C**. (1999). Markers of Excessive Exercise , Canadian Journal of Applied Physiology • Vol. 24No. 1pp. 66–73.
- **Nieman, David C**. (1997). Immune response to heavy exertion. *J. Appl. Physiol.* 82(5): 1385–1394.
- **Pen L.J; Barrett R.S; Neal R.J; Steele J.R** : An injury profile of elite ironman competitors. Aust J Sci Med Sport, 1996 Mar, 28:1, 7-11.
- **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.

محور الرابع: التعديل الحراري للتمرينات البدنية

Thermorégulation de l’exercice physique

1- العوامل الفيزيائية للمبادلات الحرارية (Les moyens physique d'échange de chaleurs):

الحرارة المنتجة من طرف الجسم تحمل من طرف الدم إلى المحيط وصولا إلى البشرة أين كما يتم النقل عن طريق المبادلات الحرارية بين الأعضاء الداخلية التي تتطلب عملية الحماية، حيث تساهم 4 عوامل فيزيائية هي: النقل الحراري، الحمل الحراري، الإشعاعات، التبخر (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 262).

1-1 المبادلات عن طريق النقل و الحمل الحراري (les échanges par conduction et par convection):

عملية التحويل الحراري عن طريق النقل تتمثل في المبادلات بالاتصال المباشر بين جسمين. كذلك الحرارة المنتجة على مستوى نسيج داخلي يمكن أن تنقل إلى نسيج آخر مجاور، ومن القريب إلى القريب تنقل الحرارة إلى الانسجة المحيطية. هذه الحرارة يمكن أن تنقل عن طريق الاتصال أو النقل بالألبسة أو عند قيام الهواء بتسخين البشرة .

حركة الهواء تكون دائما في محيط الجسم. وهذا ينتج عنه عملية مبادلات طاقوية مع جزيئات الهواء التي تمر بالاتصال مع البشرة. كلما كانت حركة الهواء كبيرة (أو السائل أي تواجد الجسم في الماء) يكون هناك عملية مبادلات حرارية عن طريق الحمل بنسب، كبيرة و معتبرة، في الهواء البارد يكون هناك فقدان للحرارة حوالي 10 إلى 20% ولكن عند توضع الجسم في ماء بارد فقدان الحرارة عن طريق النقل يكون أكثر بحوالي 26 مرة من فقدان الحرارة في الهواء الذي تكون درجة حرارته نفس درجة حرارة البشرة (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 263).

2-1 المبادلات عن طريق الإشعاعات (les échange par radiation):

في الراحة تعتبر الإشعاعات العامل الأول المستخدم من طرف الجسم لفقدان الحرارة، في الأجواء العادية 21° إلى 25°، يفقد الجسم حوالي 60% من الحرارة عن طريق الإشعاعات. التوضع في الشمس يؤدي إلى اكتساب الحرارة عن طريق الإشعاعات الجد معتبرة .

3-1 المبادلات عن طريق التبخر (les échange par évaporation):

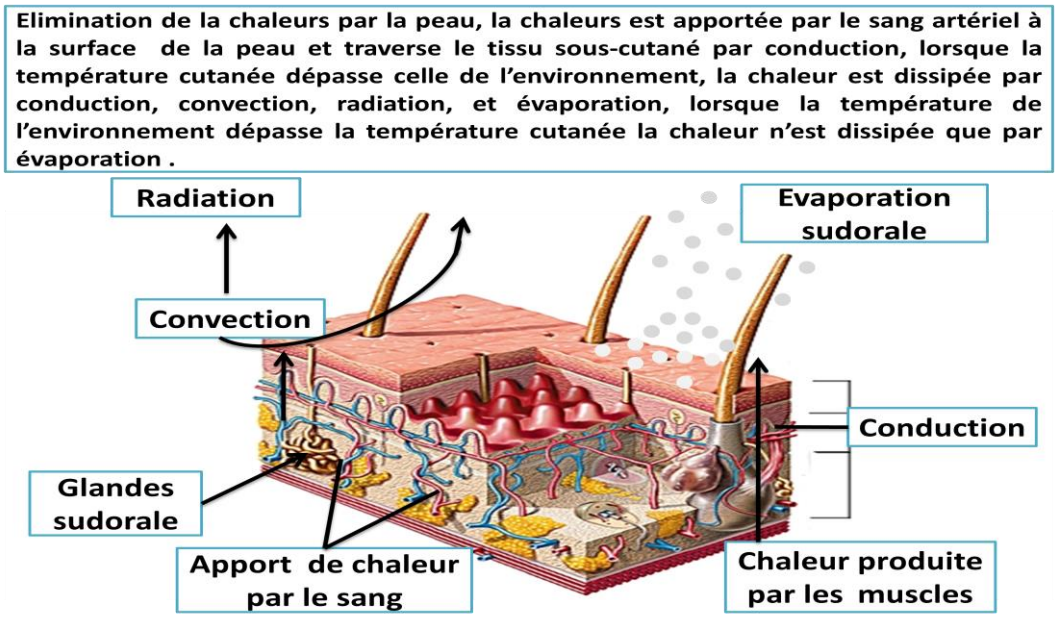
عملية التبخر تعتبر العامل الأكثر في فقدان الحرارة لدى الإنسان عند أداء التمرينات، فقدان الحرارة عن طريق التبخر يمثل حوالي 80% من الفقدان الكلي أثناء التمرينات البدنية، العوامل الأخرى تتدخل بحوالي 20% كأقصى حد. عملية التبخر تمثل الفقدان اللاشعوري وهذا بتدخل كل من الفقدان بالتبخر التنفسي و العرقي (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 263).

4-1 الرطوبة (l'hygrométrie):

درجة الرطوبة في الهواء الجوي تلعب دورا رئيسيا في المبادلات الحرارية، وهذا بخاصة عن طريق التبخر، نسبة رطوبة مرتفعة تتمثل في عدد مهم من جزيئات بخار الماء التي تسبح في الهواء. التدرج في تركيز بخار الماء بين مساحة البشرة و الهواء الجوي يكون ضعيف وهذا يخفض من قدرات قبول جزيئات أخرى من الماء. عملية التبخر العرقي تصبح أيضا محدودة، على العكس درجة رطوبة ضعيفة تسمح وتسهل التبخر العرقي.

أثناء أداء التمرينات العضلية، عملية التبخر تمثل العامل الرئيسي في التحويل الحراري نحو الهواء الجوي. في محيط مشبع ببخار الماء، عملية التبخر العرقي تكون بطريقة سيئة حتى إذا كانت درجة الحرارة منخفضة.

وعند أداء التمرينات المطولة إنتاج الحرارة الأيضية يكون معتبر، عملية الإنجاز أو التدريب في جو حار، يؤدي بالجسم إلى التخلص من الحرارة المفرطة . درجة الحرارة المركزية ترتفع نحو قيم حرجة لتشكل خطر حقيقي على الشخص (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 264).



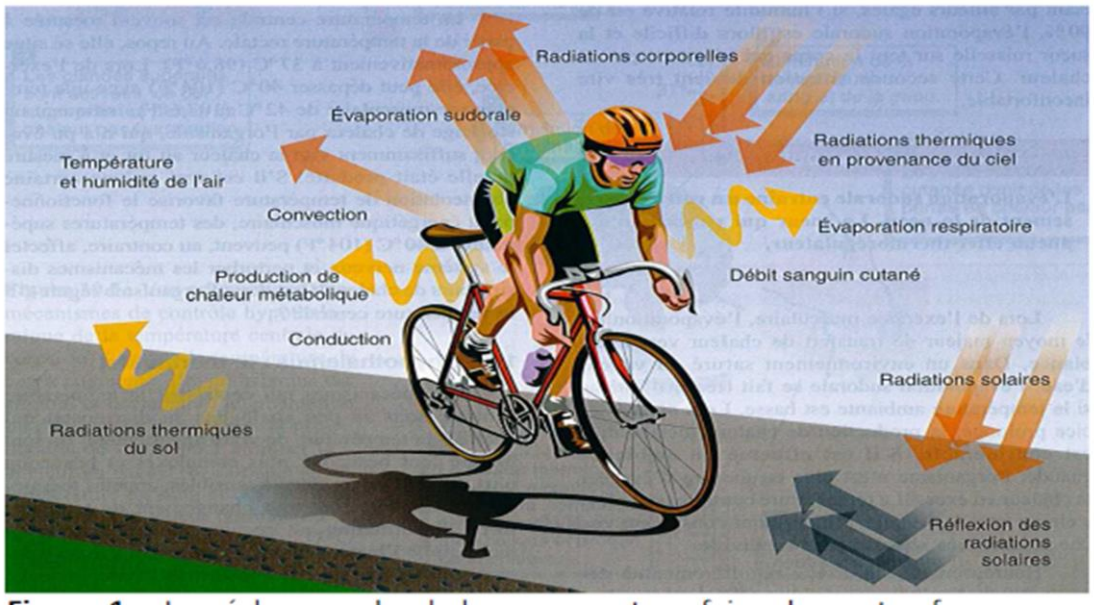
صورة رقم (01): مختلف العمليات الفزيولوجية للتخلص من الحرارة عن طريق البشرة. تحمل الحرارة عن طريق الدم الشرياني نحو منطقة البشرة أين تقطع النسيج التحت الجلدي عن طريق التوصيل الحراري (Kenney et al, 2012,).

جدول رقم (01): تقدير الفقدان الحراري أثناء الراحة و التمرين المطول (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 265).

Estimation des pertes caloriques au repos et lors de l'exercice prolongé

Mécanisme des pertes de chaleur	Repos		Exercice	
	Total %	Kcal/min	Total %	Kcal/min
Conduction et convection	20	0,3	15	2,2
Radiation	60	0,9	5	0,8
évaporation	20	0,3	80	12,0
Total	100	1,5	100	15,0

Interaction complexes des mécanismes de transfert de chaleur entre la peau et l'ambiance (modifié d'apés Gisolfi C.V et Wenger C.B, 1984)



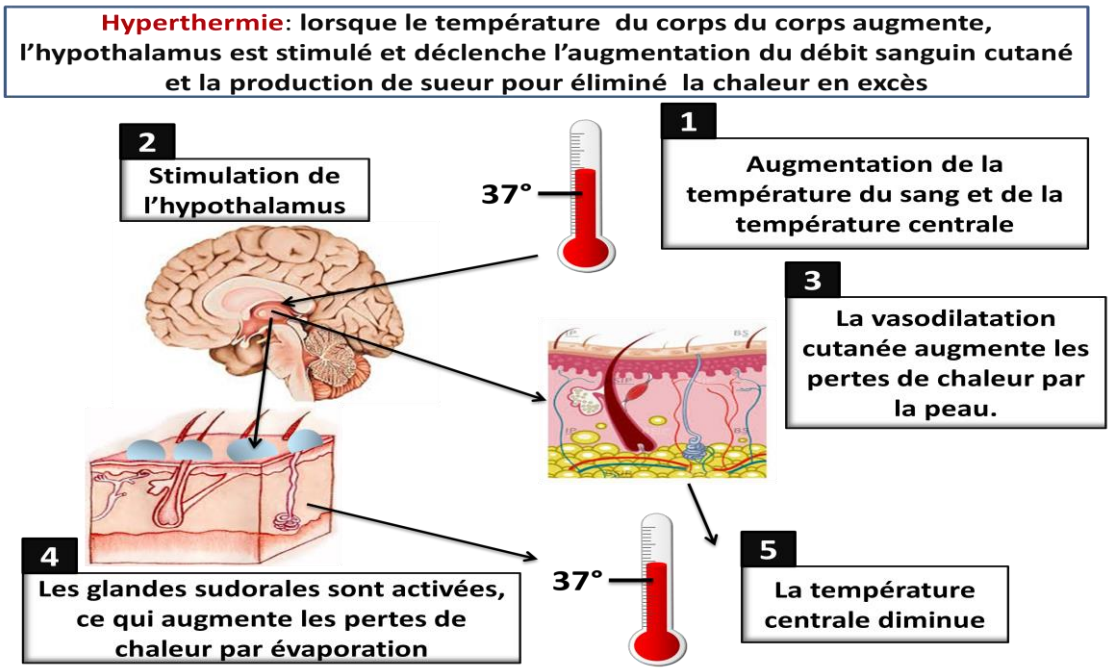
صورة رقم (02): العلاقة المركبة لآليات التحويل الحراري بين البشرة و الغلاف الجوي (تعديل بواسطة Gisolfi C V et Wenger C B, 1984).

2- مراقبة المبادلات الحرارية (contrôle des échanges de chaleur):

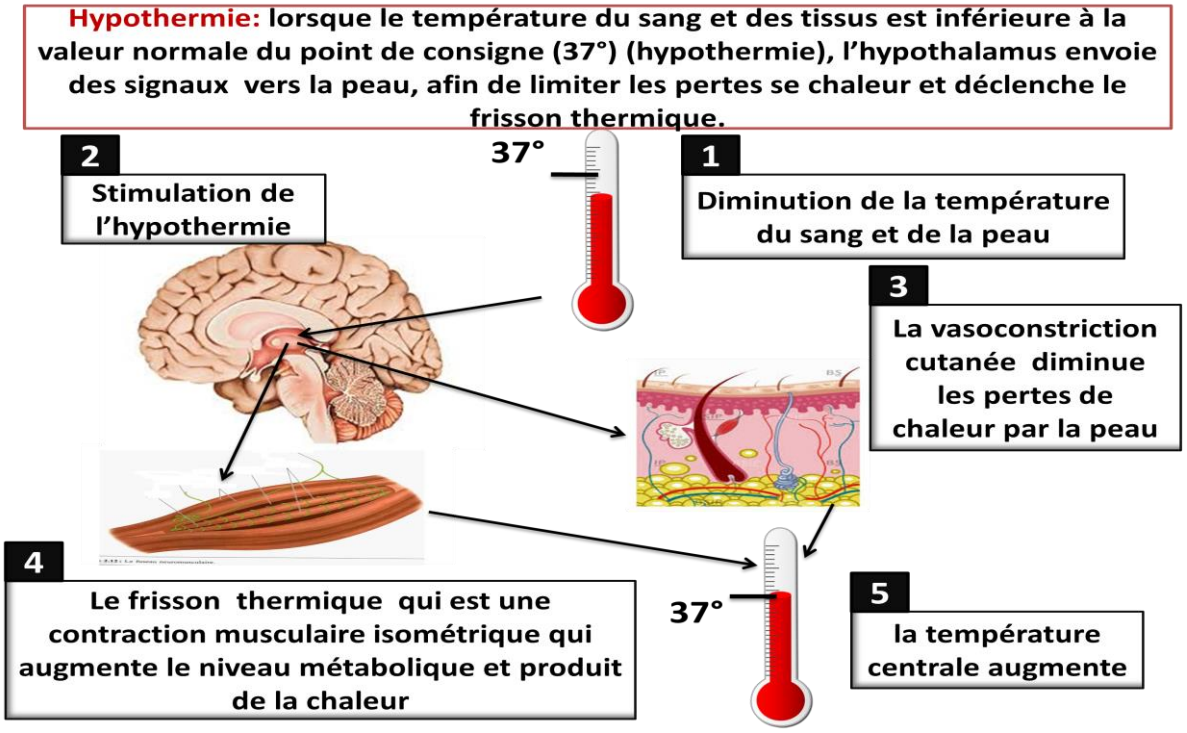
2-1 منطقة تحت المهاد : المعدل الحراري (L'hypothalamus : le thermostat):

توجد مستقبلات حساسة تسمى المستقبلات الحرارية ، تكتشف كل التغيرات في الحرارة، المعلومات الملتقطة تنقل إلى المعدل الحراري (منطقة تحت المهاد). استجابة للمستقبلات الحرارية تتدخل هذه المنطقة بمجموعة من الآليات للتعديل الحراري. مثل معدل حراري للمنزل، منطقة تحت المهاد منظمة من أجل المحافظة على درجة الحرارة العادية للجسم، وهذا ما يسمى نظريا (نقطة إعلام).

نوعين من المستقبلات تطبق في هذه الآليات: مستقبلات مركزية و محيطية. المستقبلات المركزية توجد في منطقة تحت المهاد حيث تسجل درجة حرارة الدم المتنقل في المخ. حساسيتها كبيرة جدا تصل إلى 0,01°، التغيرات الحرارية في محيط منطقة تحت المهاد تحفز مجموعة من ردود الأفعال الموجهة من أجل المحافظة أو التخلص من الحرارة الداخلية (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 266).



صورة رقم (03): ارتفاع الحرارة الجسمية. عندما ترتفع درجة حرارة الجسم ، منطقة تحت المهاد تحفز و تثير زيادة مستوى تدفق الدم في منطقة الجلد و إنتاج العرق من أجل التخلص الحرارة المفرطة (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 266).



صورة رقم (04): انخفاض الحرارة الجسمية . عندما تنخفض درجة حرارة الجسم و الأنسجة عن القيم العادية أقل من 37°، منطقة تحت المهاد ترسل إشارات نحو البشرة، من أجل الحد من فقدان الحرارة و تحفيز الإرتجافات الحرارية (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 267).

2-2 المنفذات الحرارية (les effecteurs thermiques) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 267):

❖ **الغدد العرقية :**

عند ارتفاع درجة حرارة البشرة أو الدم، منطقة تحت المهاد تعمل على تحفيز الغدد العرقية من أجل إفراز العرق . كلما ارتفعت الحرارة كلما كان إفراز العرق بنسبة معتبرة. عملية التبخر على مستوى البشرة تسمح بالتخلص من الحرارة و ترطيب و إنعاش البشرة.

❖ **العضلات الملساء في جدران الشرينات :**

عند ارتفاع حرارة البشرة أو الدم، منطقة تحت المهاد تبعث رسائل عصبية نحو العضلات الملساء الموجودة في جدران الأوعية الدموية , وهذا يؤدي إلى توسيع الأوعية المحيطي. حيث ينتج عن ذلك زيادة مستوى تدفق الدم تحت الجلد. وبذلك ينقل الدم الحرارة من المناطق المركزية نحو البشرة .

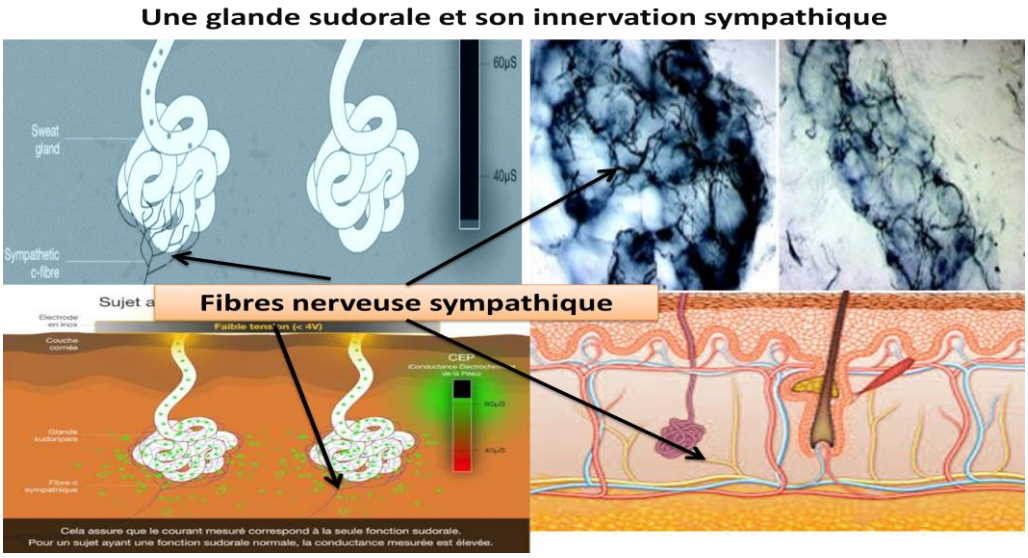
❖ **العضلات الهيكلية :**

عملية التقلص العضلي تنتج حرارة. النشاط البدني يساهم كذلك في التعديل الحراري . في الأجواء الباردة المستقبلات الجلدية تعلم منطقة تحت المهاد بتحفيز المراكز الدماغية للبرد وذلك بتحفيز ظاهرة

الإرتجافات الحرارية وهي تتابع مجموعة من التقلصات الإيزومترية اللاإرادية بوتيرة عالية ، وذلك بتحويل كل الحرارة إلى حرارة .

❖ **الغدد الصماء (الإفراز الداخلي) :**

عدة هرمونات ترفع من مستوى العمليات الأيضية الخلوية و بالتالي إنتاج الحرارة الداخلية. البرد يرفع من إفراز الثيروكسين من طرف الغدة الدرقية، حيث ينتج عن ذلك زيادة المستوى الأيضي في جميع أنحاء الجسم ، في بعض الحالات أكثر من 100 %، كذلك نشير إلى الكاتي كولامين (الادرينالين و النورادرينالين) اللذان يتدخلان مباشرة في العمليات الأيضية .



صورة رقم (05): الغدد العرقية و عملية التحفيز السمبثاوي من أجل إنتاج العرق.

3-الاستجابات الفزيولوجية أثناء التمرينات في الأجواء الحارة (réponses physiologiques lors del'exercice en ambiance chaude):

1-3 وظيفة الجهاز القلبي الوعائي (La fonction cardiovasculaire):

الجهاز الدوري ينقل الحرارة من العضلات نحو المحيط أين يتم التخلص منها، حيث يوجد تدفق كبير للكتلة الدموية نحو منطقة الجلد. حجم الدم الكلي يصبح محدود، تدفق الدم العضلي ينخفض أثناء التمرينات. حيث ينتج عن ذلك توسع للأوعية الدموية في منطقة الجلد ويؤدي ذلك إلى انخفاض في نشاط العضلات و التفوق الرياضي.

عملية إعادة توزيع الدم على مستوى العضلات و في مناطق الجلد يخفض من الرجوع الوريدي نحو القلب و حجم التلدياستول، و بالتالي انخفاض حجم الدفع القلبي (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 268).

2-3 إنتاج الطاقة (La production d'énergie):

الأعمال المنجزة من طرف(FinK et coll) إكتشفت أن استهلاك الأكسجين و استخدام الجليكوجين و إنتاج اللاكتات يرتفع أيضا، أثناء أداء التمرينات في الأجواء الحارة إنتاج العرق و ارتفاع التهوية يتطلب طاقة و هذا ما يرفع من نسبة استهلاك الأكسجين. حيث ينخفض مستوى تدفق الدم على مستوى العضلات مع إستخدام أكثر للجليكوحين و إنتاج أكثر للاكتات، و هذا ما يسرع من عملية حدوث التعب و الإنهاك.

حسب (Febbario) إرتفاع درجة حرارة العضلات يؤدي إلى حدوث إضطراب في العمليات الأيضية العضلية و حدوث التعب. إرتفاع الحرارة يؤدي إلى زيادة إفراز الادرينالين و الذي بدوره يرفع من نسبة إستهلاك و إستخدام السكريات.

3-3 توازن السوائل (l'équilibre hydrique ; la sudation):

الغدد العرقية خاضعة لمراقبة منطقة تحت المهاد. ارتفاع درجة حرارة الدم يؤدي بمنطقة تحت المهاد بتنبيه الجهاز العصبي السمبثاوي الذي بدوره يحفز ملايين الغدد العرقية المتوزعة على مساحة الجسم. أثناء التمرينات الشاقة في الأجواء الحارة ، يمكن أن يفقد الجسم أكثر من 1 لتر من العرق في الساعة وفي 1 متر مربع من مساحة الجسم .

وهذا ما يعادل فقدان بين 1,6 إلى 2 لتر من العرق، أي 2,5 إلى 3,2 من وزن الجسم. مستوى تعرق مرتفع يخفض من حجم الدم. وبالتالي حجم الدم الكلي المتاح للعضلات و احتياجات التعديل الحراري تصبح غير كافية، لدى عدائي المسافات الطويلة، فقدان العرق يمكن أن يصل من 6% إلى 10% من وزن الجسم . و هذا ما يمكن أن ينتج عنه خطر ارتفاع الحرارة الجسمية.

فقدان الماء و الأملاح يحفز إفراز الالدسترون و هرمون الانتي ديوريتيك المسؤولان عن المحافضة على توازن السوائل. الالدستيرون يفرز من طرف قشرة الغدة الكظرية وهو مسؤول عن المحافضة على تركيز الصوديوم في الدم ، عند إنخفاض الحجم البلازمي أو إنخفاض الضغط الشرياني يعمل هذا الهرمون على حجز الصوديوم من طرف الكلى ويصاحب ذلك حجز الماء من أجل المحافضة على السوائل (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 269).

التدريب في الأجواء الحارة ينتج عنه زيادة الحجم البلازمي و البين خلوي بنسبة 10 إلى 20% و هذا من أجل تحضير الجسم للتوضع الإضافي في الحرارة وهذا ما يسمح بمستوى تعرق جد معتبر.

أداء التمرينات وفقدان السوائل يحفز أيضا الغدة النخامية على إفراز هرمون الأنتي ديوريتيك ADH هذا الهرمون يعمل على إعادة امتصاص الماء من طرف الكلي ، ما يحفز حجز الماء من طرف الجسم و التخفيض من فقدان السوائل و الأملاح و الحد من الطرح البولي .

4- أخطار ممارسة التمرينات في الأجواء الحارة (les risques de l'exercice en ambiance chaude):

درجة حرارة الجو لا تعتبر كمؤشر كافي للإرهاق الفزيولوجي المفروض على الجسم حيث توجد أربع عوامل أخرى يجب أن تأخذ بعين الاعتبار.

- درجة حرارة الجو
- نسبة الرطوبة
- سرعة الهواء
- الكمية الكلية للإشعاعات

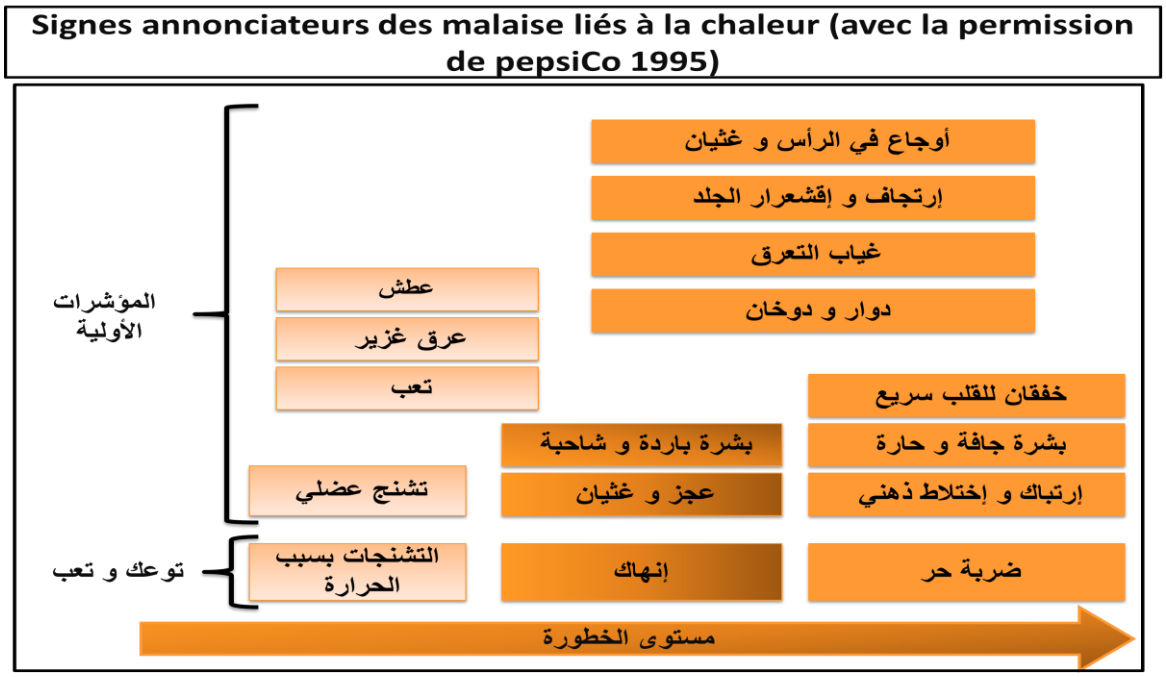
4-1 المشاكل الحاصلة بسبب الحرارة (les problèmes liés à la chaleur):

- التشنجات العضلية بسبب الحرارة **(Les crampes liées a la chaleur):**

التشنجات العضلية بسبب الحرارة تعتبر أقل ضررا من الأخطار الثلاثة التي من الممكن أن تحدث (الإنهاك، *ضربة* حر)، فيما يخص العضلات الأكثر استخداما من طرف التمرينات ينتج عن ذلك فقدان السوائل و جفاف الجسم مصاحبا ذلك أيضا مستوى تعرق مرتفع .

- **الإنهاك بسبب الحرارة L'épuisement liés à la chaleur**

الإنهاك بسبب الحرارة يصاحبه حدوث مؤشرات التعب وهي ضيق التنفس، دوار و دوخان، تقيؤ، بشرة باردة ورطبة، أو العكس حارة و جافة، إنخفاض الضغط، و نبض ضعيف و سريع. حيث توجد منافسة بين احتياجات منطقة الجلد من أجل التعديل الحراري والإحتياجات العضلية من أجل التمرينات. الإنهاك بسبب الحرارة يحدث عند انخفاض حجم الدم بسبب فقدان السوائل و الاملاح الغزير الراجع إلى عملية التعرق (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 272).



صورة رقم (06): الإشارات التوضيحية لعدم الارتياح المرتبط بالحرارة (برخصة من طرف Pepsico 1995) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 272).

- **ضربة حر Le coup de chaleur**

ضربة حر هي استعجال طبي يتطلب تدخل مباشر للطبيب و هي تتميز بالمؤشرات التالية :

- ❑ الارتفاع الزائد و المفرط للحرارة المركزية فوق 40° .
- ❑ توقف العرق، بشرة حارة و جافة .
- ❑ نبض و تنفس سريع.
- ❑ إرتفاع للضغط غير عادي.
- ❑ تصرفات غير شعورية و فقدان الوعي .

المعالجة تتطلب إنعاش سريع للشخص في حوض مائي بارد و الإحتوء بغطاء رطب و مهوء

- **الوقاية من ارتفاع الحرارة (La prévention de l'hyperthermie) (American College of Sports Medcine de 1987 et 1995) :**

الوقاية من ضربة حر يمر بمراحل الوقائية التالية :

- ❑ يجب تفادي أولا ممارسة التمرينات المطولة في الهواء الطلق .
- ❑ ينصح بممارسة النشاطات البدنية أو الرياضية في الصباح أو المساء.
- ❑ وضع كميات من المشروبات في أماكن ممارسة الرياضيين و التوقف لتناول كميات من الماء كل 10 إلى 20 دقيقة.

- الألبسة الرياضية تعتبر مهمة أيضا حيث يجب أن تكون خفيفة تسهل المبادلات ، و ذات لون باهت تسمح بعكس الإشعاعات .

جدول رقم (02): مؤشرات ارتفاع الحرارة الجسمية (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 273).

Signes de l'hyperthermie	
Température rectale	**Symptômes**
40-40,5°C (104-105° F)	Sensation de frisson et de chair de poule (érection des poils)
40,5- 41,1°C (105-106° F)	Faiblesse musculaire , désorientation, perte d'équilibre
41,1- 41,7°C (106-107° F)	Baisse du débit sudoral, perte de conscience et du contrôle hypothalamique
> 42,2°C (> 108°F)	Décès

5- التكيف عند أداء التمرينات في الأجواء الحارة (l'acclimatation à l'exercice en ambiance chaude):

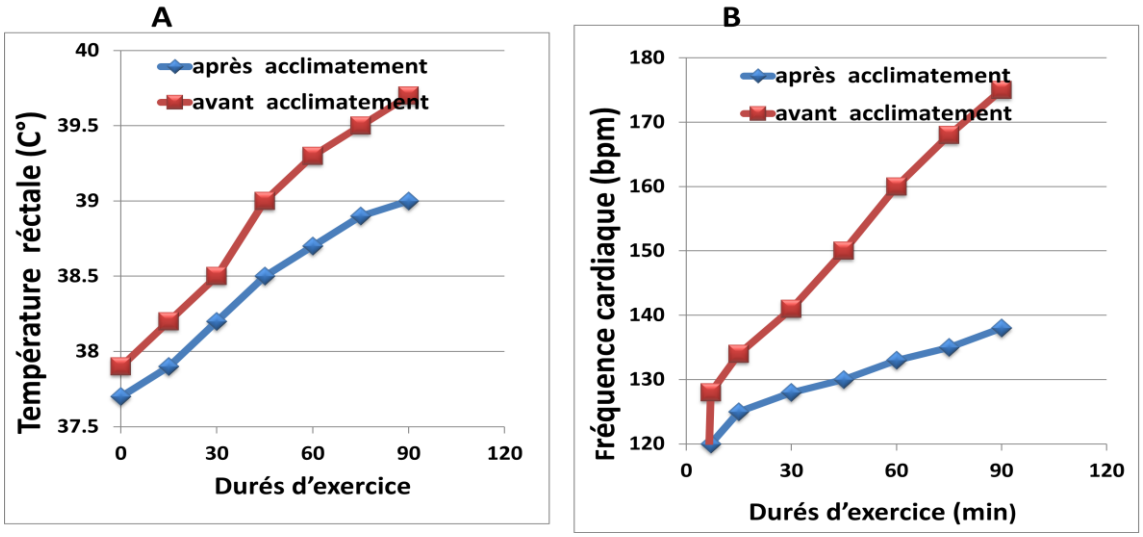
1-5 تأثير التكيف للحرارة (effet de l'acclimatement à la chaleur):

التدريب في الأجواء الحارة يحسن من قدرة الجسم على التخلص من الحرارة، و يخفض كذلك من خطر الإنهاك و ضربة حر. وهذا ما يسمى بالتكيف للحرارة، هذا التكيف يرجع إلى التوضع في الأجواء الحارة، مستوى تدفق الدم والتعرق يرتفع، الكمية الكلية من العرق المنتج ترتفع وهذا يسمح بمجابهة جيدة للحرارة. نتيجة لذلك الحرارة الجلدية تصبح منخفضة ، نشير كذلك إلى أن العرق يكون أقل تركيزا لدى الرياضيين، وهذا يسمح بالمحافظة الفعالة على الأملاح.

درجة الحرارة الجسمية أكثر انخفاضا بعد التكيف للتمرينات في الأجواء الحارة. النبض القلبي يصبح أقل ارتفاعا، هذه التكيفات تفسر إلى إعادة توزيع الكتلة الدموية بعد انخفاض تدفق الدم الجلدي. حيث يرتفع حجم الدفع القلبي.

بعض الدراسات تشير إلى ارتفاع حجم الدم الكلي بعد فترة من التدريب في الأجواء الحارة. هذه الظاهرة ترجع رئيسيا إلى حجز الصوديوم من طرف الجسم.

Différence de (a) température rectale et (b) fréquence cardiaque avant entrainement à la chaleur (avant acclimatement) et après entrainement à la chaleur (acclimatement) modifié d'après D.S king et al 1984



صورة رقم (07): الفرق (A) في درجة الحرارة الشرجية و (B) النبض القلبي قبل التدريب في الأجواء الحارة (قبل التأقلم) و بعد التدريب في الأجواء الحارة (التأقلم) حسب (King D S et al, 1984).

- الرفع من الحجم البلازمي بنسبة 10 إلى 12% عن طريق البروتينات البلازمية (Gisolfi et cohen 1979) . هذه الزيادة في الحجم البلازمي تسمح بالمحافظة على ضغط الدم و حجم الدفع القلبي بدون الحاجة إلى زيادة حجم الضربة عن طريق النبض القلبي
- التحفيز السريع لمستوى التعرق عند بداية التمرينات، وهذا يخفض من التخزين الاولي للحرارة.
- الرفع من مستوى التعرق إلى 3 مرات عند نفس حمولة التمرين (نفس نسبة إستهلاك الأقصى للأكسجين) (1 لتر في الساعة عوض 0,3 لتر في الساعة لدى شخص متدرب و متكيف في الاجواء الحارة عند شدة 60% من VO2max).
- انخفاض تركيز العرق من الأملاح المعدنية خاصة الصوديوم و الكلور وهذا بفضل هرمون الالدستيرون الذي يسمح بإعادة إمتصاص الصوديوم على مستوى الكلى .

2-5 آليات التكيف العقلاني للحرارة (procédés d'acclimatement optimale à la chaleur):

التكيف للحرارة يتطلب أكثر التوضع في الأجواء الحارة مع الأخذ بعين الاعتبار:

- الشروط و الظروف المحيطية أثناء تكرار كل تمرين.
- مدة التوضع في الحرارة .
- مستوى الإنتاج الأيضي الذاتي (شدة التمرينات) .

La triathlète française Carole Péon, lors de son échauffement lors des Jeux Olympiques de Pékin portait une veste de froid pour mieux se préparer à la chaleur ambiante régnant le jour de sa course.

صورة رقم (08): الرياضية الفرنسية كارول بيون أثناء عملية الإحماء خلال الألعاب الأولمبية بكين تحمل سترة تبريد من أجل التحضير الجيد للحرارة الجوية يوم السباق (Le Meur Y et Hausswirth C, 2012).

l'entraînement sous infrarouges (la thermo-training room)

صورة رقم (09): التدريب تحت الأشعة تحت الحمراء (غرفة التدريب الحراري) (Le Meur Y et Hausswirth C, 2012).

فزيولوجيا، تم الاكتشاف أن الشخص المتدرب يتكيف بسرعة للحرارة، سواء في الوسط الجاف أو الرطب (pandolf K B et al., 1988 ; Sawka M N et al., 1996)، حيث يجب التدريب عند شدة تمرينات تؤدي إلى إحداث حمل حراري عند شدة على الأقل 50% من الإستهلاك الأقصى للأكسجين .

كما أن التدريب في الصباح أو المساء لا يحضر دائما و لا يكون كافي للرياضيين من أجل التكيف للحرارة. يجب كذلك التدريب في الأوقات الحارة من اليوم من أجل دفع عمليات التكيف إلى أقصاها . حيث أوضح Pandolf K B (1998) أن أداء التمرينات في الحرارة يعتبر الطريقة الأكثر فعالية من أجل تطوير أليات التكيف . حيث نعتبر عامة أن التكيف يكون كليا بين اليوم 7 إلى 10. كذلك من المهم أن نخفض من شدة التمرينات حولي 60 إلى 70% في الأيام الأولى من أجل تفاذي الإرهاق الحراري و نتائجه .

6- التمرينات في البرد (L'exercice au froid):

درجة الحرارة المرجعية لمنطقة تحت المهاد هي 37° ، مع التغيرات اليومية في الحرارة يمكن أن تصل إلى 1°. انخفاض درجة الحرارة الجلدية أو الدموية يؤدي إلى استجابة مركز التعديل الحراري (منطقة تحت المهاد) وهذا يحفز آليات تصارع ضد البرد و ترفع من إنتاج الحرارة الجسمية. الآليات الأولية هي الارتجاف الحراري، التعديل الحراري بدون إرتجافات، تضييق الأوعية الدموية المحيطي (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 276).

- **الارتجاف الحراري:** هو تتابع مجموعة من التقلصات اللاإرادية التي ترفع بنسبة 4 إلى 5 مرات من إنتاج الحرارة الأيضية في الراحة.
- **التعديل الحراري بدون إرتجافات:** يطبق تحفيز العمليات الأيضية عن طريق الجهاز العصبي السمبثاوي. وهذا بالرفع من المستوى الأيضي، و زيادة إنتاج الحرارة الداخلية .
- **تضييق الاوعية الدموية المحيطي :** يأتي بعد التحفيز السمبثاوي للعضلات الملساء الموجودة في جدران الشرينات القريبة من مساحة الجلد، هذا التقلص يؤدي إلى التخفيض من قطر الأوعية الدموية و تدفق الدم في محيط الجلد، وهذا من أجل الحماية من فقدان الحرارة . المستوى الأيضي للخلايا الجلدية ينخفض أيضا وهذا يصاحبه نقصان في درجة حرارة الجلد، و التخفيض من الإحتياجات المحيطية للأكسجين

1-6 العوامل المؤثرة على فقدان الحرارة الجسمية (Les facteurs affectant les pertes de chaleur de l'organisme):

1-6-6 المرفولوجيا و الكتلة الجسمية (morphologie et composition corporelle):

العامل الأحسن من أجل مقاومة انخفاض الحرارة هو عزل الجسم عن البرد. الدهون التحت جلدية تعتبر عازل فعال، قياس ثنيات الدهون يسمح بتقييم نسبة دهون الجسم، وهي مؤشر جيد لدرجة مقاومة و مجابهة البرد. الأشخاص الذين لديهم نسبة دهون مرتفعة يحتفظون بنسبة جيدة للحرارة الجسمية . مستوى فقدان الحرارة يتأثر أيضا بالفرق بين المساحة الجسمية و الوزن. هذا الفرق يكون ضعيف لدى الأشخاص الذين لديهم بنية ضخمة ووزن ثقيل (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 277).

2-1-6 حركة الهواء (le courant d'air):

درجة حرارة الجو لا تعتبر عامل كافي من أجل تقييم الإرهاق الحراري المفروض على الجسم، حركة الهواء تعتبر عامل تبريد و بالتالي نشير إلى حركة التيار الهوائي . عن طريق النقل و الحمل هذه الظاهرة ترفع من فقدان الحرارة ، كلما كان الهواء رطب و بارد بشدة كلما كان الإرهاق الحراري كبير.

2-6 فقدان الحرارة في الماء (Les pertes de chaleur dans l'eau):

في الماء العامل الرئيسي المسؤول عن تبريد الجسم هو النقل الحراري. الشخص المتوضع في الماء درجة حرارته 32° يحافظ على الحرارة المركزية للجسم، بينما عند انخفاض درجة حرارة الماء يعرف هذا بانخفاض الحرارة (hypothermie). هذا الفقدان المهم للحرارة من طرف للجسم المتوضع في ماء بارد يؤدي بسرعة إلى انخفاض حاد في الحرارة الجسمية وحدوث الموت عند طول مدة التوضع. عند دخول شخص في ماء درجة حرارته 15° تنخفض درجة حرارته الشرجية بـ2,1° في الساعة (4° تنخفض الحرارة الشرجية ب3,2° في الساعة) (Molnar G W ,1946 ; Newburg L H, 1949).

حسب pugh et edholm (1955) الأشخاص البدناء (لديهم نسبة دهون حوالي 30%) حيث يمكنهم السباحة إلى 6ساعات و 50 دقيقة في ماء درجة حرارته 11,8° بدون التغير في درجة الحرارة الشرجية، في نفس الشروط السباحين النحفاء لديهم نسبة دهون قدرها 10% حيث تنخفض درجة الحرارة المركزية إلى 33,7 وهذا بعد 30 دقيقة من السباحة فقط وهذا يجبر على التوقف (Pugh L G et Edholm DG, 1955).

3-6 الاستجابات الفزيولوجية أثناء التمرينات في الأجواء الباردة (Réponses physiologiques lors de l'exercice en ambiance froid):

1-3-6 الوظيفة العضلية (La fonction musculair):

كما أن تبريد العضلات يؤدي إلى إضعافها، بحيث يتكيف الجهاز العصبي بتغيير نمط تحفيز الألياف العضلية. هذه التغيرات تؤثر على فعالية العضلات، وهذا يظهر في سرعة التقلص و انخفاض دال إحصائيا في القوة المنتجة عند انخفاض الحرارة الجسمية، عند انخفاض درجة حرارة العضلات إلى 25° بسبب البرد لا يعمل الجسم في نفس السرعة والقوة المنتجة المعتادة. حيث يحدث تعب سريع (Faulkner J A et al, 1987).

بقاء مستوى الإنجاز و التفوق الرياضي في حالة المحافظة على مستوى عزل عن طريق الألبسة والإنتاج الإيضي، أثناء التمرينات وهذا يعتبر كافي من أجل المحافظة على حرارة الرياضي.

2-3-6 الاستجابات الأيضية (les réponses métaboliques):

من المعروف جدا أن التمرينات المطولة تطبق تحريك و أكسدة الأحماض الذهنية الحرة (AGL). العملية الأيضية هذه تحفز عن طريق الكاتي كولامين البلازمي (الأدرينالين و النورادرينالين). أثناء التوضع في البرد، يلاحظ زيادة واضحة في إفراز الكاتي كولامين، بينما مستوى الأحماض الذهنية الحرة ينخفض بوضوح أثناء التمرينات المطولة المنجزة في الظروف العادية . كما يحدث تضييق مهم للأوعية الدموية أثناء التوضع في البرد في محيط الجلد و تحت، الجلد، وهذا بسبب انخفاض تدفق الدم الذي ينقل الدهون من منطقة التخزين نحو العضلات و التخفيض من نسبة استخدامها مسببا بعض الاضطرابات في العمليات الأيضية (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 280).

4-6 أخطار التمرينات في الأجواء الباردة (Les risques de l'exercice en ambiance froid):

تم الاكتشاف أن دخول الأشخاص في ماء جامد تنخفض درجة الحرارة الشرجية من 25°إلى 24°. عند انخفاض درجة الحرارة عن 34,5° منطقة تحت المهاد تفقد جزءا من قدرتها على تعديل الحرارة، هذه القدرة تختفي كليا عند انخفاض درجة الحرارة الشرجية إلى 29,5°. فقدان الوظيفة هذا ينتج عنه انخفاض في التفاعلات الأيضية حيث لا تمثل سوى نصف المستوى العادي .

6-4-1 تأثير الجهاز القلبي الوعائي (les effets cardiorespiratoires):

تأثير التوضع في البرد المفرط ينتج عنه حوادث في الأنسجة المحيطية و الأنسجة الحيوية، الجهاز القلبي الوعائي و التنفسي. المرحلة النهائية للانخفاض الحرارة هي حدوث الموت. حيث يؤثر البرد على العقدة الجيبية (nœud sinusal) مركز التحكم القلبي. الانخفاض المتواصل في وتيرة النبض المفروض من طرف ريتم العقدة الجيبية يؤدي إلى انخفاض في مستويات النبض القلبي.

التنفس العميق للهواء البارد ينتج عنه تجمد أو تلف في المجاري التنفسية. الهواء البارد الذي يقطع الفم و الحنجرة يسخن مباشرة حتى إذا كانت درجة حرارة الهواء منخفضة أقل من 25° (Wehb P, 1951). التنفس الفمي يستخدم بكثرة عند أداء التمرينات و هذا يؤدي إلى التهاب الفم و الحلق و الحنجرة ، و الشعب الرئوية عند وصول درجة الحرارة الخارجية أقل من 12°. التوضع المتواصل في البرد يؤثر على الوظيفة التنفسية و يخفض من وتيرة ومدى التنفس.

2-4-6 التجمدات (les gelures):

البشرة المتوضعة في البرد تصبح معرضة للجليد عند انخفاض الحرارة إلى درجات أقل من 0°. بالنظر إلى الحرارة المتنقلة عن طريق تدفق الدم و إنتاج الحرارة الأيضية، درجة حرارة الهواء الضرورية من أجل تجميد الأصابع، الأنف و الأذنين تكون أقل من -29°. و بالتالي نقول أن تضييق الأوعية الدموية يسمح بمحافظة الجسم على الحرارة. دوران الدم في منطقة الجلد يمكن أن ينخفض إلى

درجة موت الأنسجة بسبب نقص الأكسجين و المواد الغذائية. هذه التجمدات تصبح أكثر خطورة إذا لم يتم معالجتها مباشرة مع خطر حدوث التلف و الفساد وفقدان الأنسجة (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 281).

3-4-6 معالجة انخفاض الحرارة (traitement de l'hypothermie):

انخفاض الحرارة المتغير يمكن أن يعالج بأخذ الجسم لغطاء، أو ألبسة و مشروبات ساخنة. الانخفاض في الحرارة الحاد يتطلب التدخل السريع الكامل من أجل تفادي بداية حدوث اضطراب قلبي، كما يتطلب ذلك النقل إلى المستشفى و العلاج الطبي.

5-6 التكيف في البرد (Acclimatation au froid) :

بعض من المعلومات تشير إلى التوضع المستمر و اليومي في ماء بارد، الرفع من الأنسجة الذهنية تحت الجلد (Kang B S, et al, 1963). بينما بعض المعلومات الأخرى تشير إلى أن التوضع المتكرر في البرد يؤدي إلى اضطراب في تدفق الدم المحيطي و درجة الحرارة. دراسات أخرى في وضعيات مماثلة تشير إلى أن التوضع المستمر لبعض أجزاء الجسم في البرد مثل اليد يمكن أن ينتج عنه مجابهة للبرد بطريقة أحسن، الصيادين المجبرين على العمل باليد في ماء بارد لعدة ساعات لديهم توسع للأوعية مما يؤدي إلى تسخين المناطق المتعرضة للبرد (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 282).

قائمة المراجع :

- **American College of Sports Medcine (1995).** Heat and cold Illnesses during distance running : ACSM position stand. Medicine and Science in sports and Exercise, 28(12), i-x.
- **Faulkner J .A., Claflin D.R ., Mc Cully, K.K** .(1987). Muscle fonction in the cold. In J.R. Sutton, C.S. Houston, G. Coates (Eds), Hypoxia and cold(PP.429-437). New York : Praeger.
- **Gisolfi C.V et Wenger C.B. (1984).** Temperature regulation during exercise : Old concepts, new ideas. Exercise and sport Sciences Reviews, 12, 339-372.
- **Kang, B.S., Song H.S., Suh, C.S., Hong, S.K. (1963).** Changes in body temperatur and basal metabolic rate of tha ama, Journal of applied Physiology, 18, 483-488.
- **Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL (2012).** *Physiology of sport and exercise.* United States of America: Human Kinetics.
- **King, D.S., Costill, D.L., Fink ,W.J., Hargreaves, M., Fielding, R.A.,** (1985). Muscle metabolism during exercise in the heat in unacclimatized and acclimatized humans. Journal of Applied Physiology, 59, 1350-1354.
- **Le Meur Y et Hausswirth C**, Apprenez à apprivoiser la chaleur, chercheurs à l'INSEP, 2012.
- **Molnar, G.W. (1946).** Surviva of hypothermia by man immersed in the ocean. Journal of the American Medical Association, 131, 1046-1050.
- **Newburgh, L.H.** (1949). Physiology of heat regulation. Philadelphia :Saunders. **Pugh, L.G., Edholm, D.G**. (1955). The physiology of channel swimmers. Lancet, 2, 761-767.
- **Pandolf, K.B. (1998)**. Time course of heat acclimation and decay. Int. J. Sports Med. 19:S157-S160.
- **Sawka, M.N.,C.B. Wenger, and K.B. Pandolf** (1996). Thermoregulatory responses to acute exercise-heat stress and heat acclimation. In: M.J. Fregly and C.M. Blatteis,(eds) Handbook of Physiology, Section 4, Environmental Physiology. Oxford University Press, New York, Section 4, pp. 157-185.
- **Wehb, P.(1951).** Air temperature in respertory tracts of resting subjects in the cold. Jurnal of applied physiology, 4, 378-382.

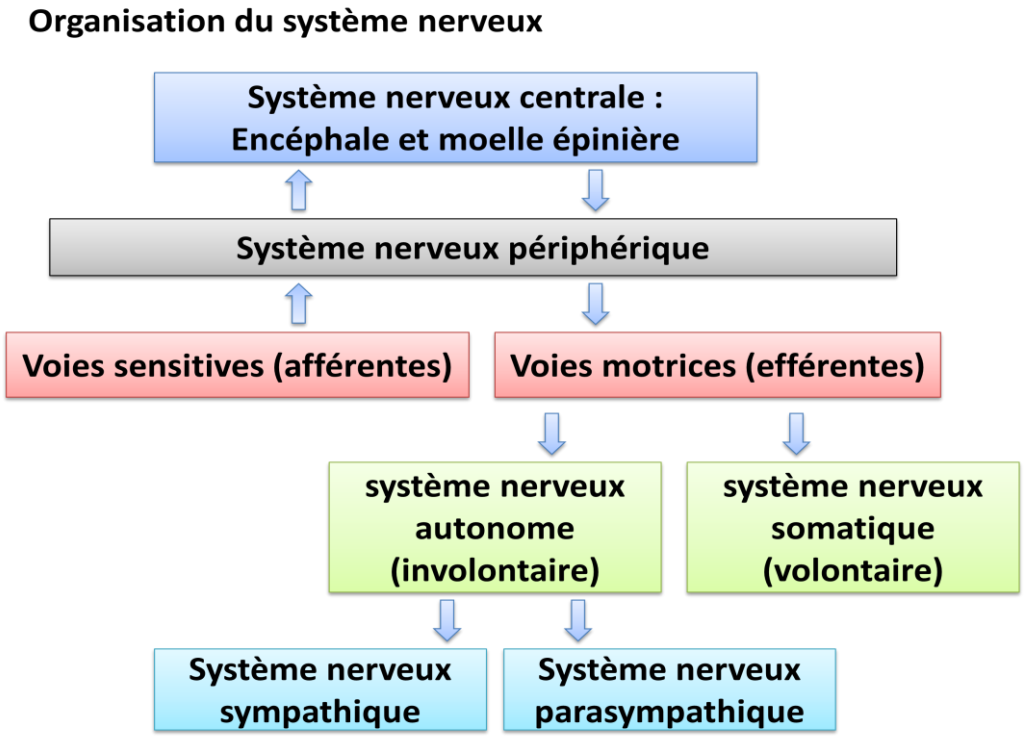
المراقبة العصبية للحركة

Le contrôle nerveux du mouvement

مقدمة :

ينقسم الجهاز العصبي إلى جزئيين كبيرين رئيسيين هما: الجهاز العصبي المركزي (SNC)، و الجهاز العصبي المحيطي (SNP). الجهاز العصبي المركزي يتكون من الدماغ و النخاع الشوكي بينما الجهاز العصبي المحيطي يتكون من المسار الحسي (afférente) و المسار الحركي (efférente) التبخر .

المسار الحسي يعلم باستمرار الجهاز العصبي المركزي بالأحداث التي تحصل خارج و داخل الجسم. استجابة لإشارات المسار الحسي، المسار الحركي ينقل المعلومات القادمة من الجهاز العصبي المركزي إلى مختلف أجزاء الجسم. المسار الحركي يتكون من الجهاز العصبي الذاتي (autonome) (اللاإرادي) و الجهاز العصبي الجسدي الإرادي (Somatique). الجهاز العصبي الذاتي يتكون كذلك من قسمين وظيفيين هما الجهاز العصبي السمبثاوي (sympathique) و الجهاز العصبي البراسمبثاوي (parasympathique) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 51).



صورة رقم (01): تنظيم الجهاز العصبي التبخر (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 51).

1- بنية ووظيفة الجهاز العصبي :

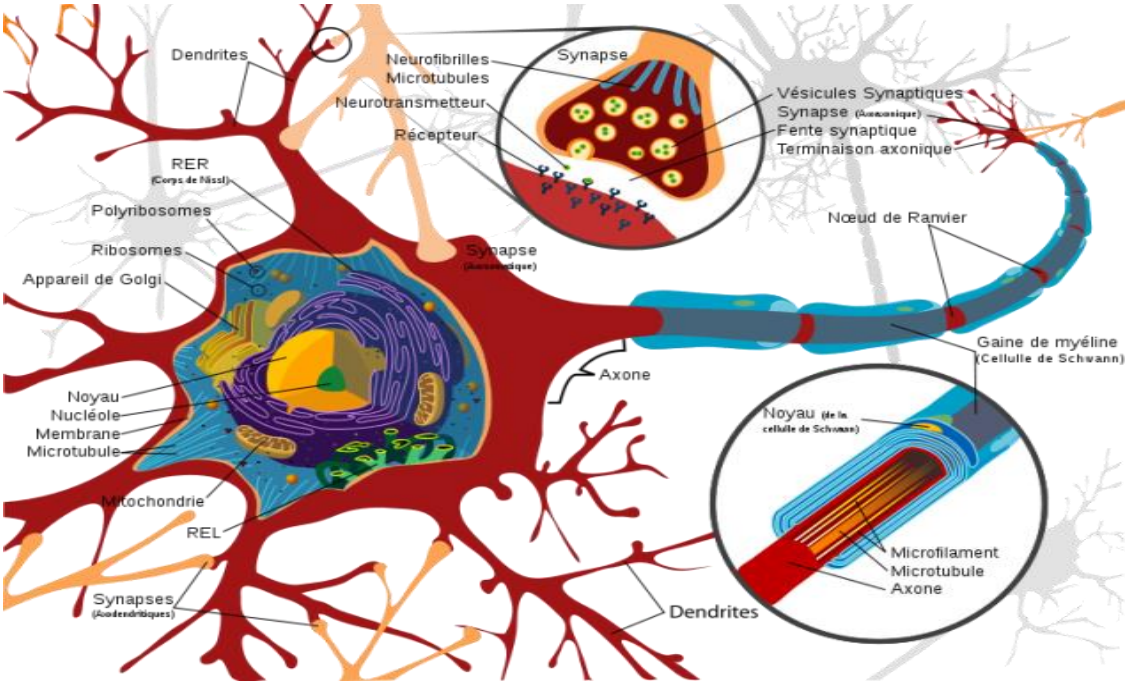
1-1 العصبونات :

الخلايا، أو الألياف العصبية تسمى العصبونات حيث يتكون العصبون من:

- ✓ الجسم الخلوي .
- ✓ الزوائد أو التشعبات .

✓ المحور.

يحتوي الجسم الخلوي على النواة، الزوائد الخلوية أو الشجيرية، التشعبات و المحور، التي تنتشر من هذا الجسم الخلوي. على جانب المحور يتناقص الجسم الخلوي إلى منطقة مخروطية الشكل التي تلعب دورا رئيسيا في انتشار السيالة العصبية.



صورة رقم (02): البنية التشريحية للخلية العصبية .

1-2 السيالة العصبية :

السيالة العصبية هي ظاهرة كهربائية. و هي إشارة تنتقل من القريب إلى القريب، من عصبون إلى أخر، لتصل في النهاية إلى عضو نهائي، أو عنصر من الجهاز العصبي المركزي، تخطيطيا يمكن أن ندرك أن عملية التنبيه العصبي الذي يجري في العصبون مثل الكهرباء الذي يسري في الخيوط الكهربائية للمنزل التبخر (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 52).

1-2-1 كمون الراحة الغشائي:

الغشاء الخلوي للعصبون في حالة الراحة يعبر عن مقر الفرق في الكمون بين الداخل و الخارج. عند وضع أقطاب الفولط متر داخل الخلية نلاحظ أن توزيع الحمولات الكهربائية (الايونات) على طرفي الغشاء الخلوي يعطي فرق في الكمون قدره -70 ملي فولط، حيث يكون داخل الغشاء سلبي مقارنة بالخارج. عند مراقبة تركيز أيونات الصوديوم و البوتاسيوم داخل الليف و خارجه نلاحظ أن هذه الايونات تتوزع توزيعا غير متساوي بين داخل الليف و خارجه، وبالتالي فإن غشاء الخلية العصبة هو مقر الفرق في الجهد يبلغ حوالي -70 ملي فولط ، هذا الفرق في الجهد يسمى كمون الراحة الغشائي (PRM) و هو نتيجة توزيع الحمولات الكهربائية (الأيونات) على جانبي الغشاء.

وعند تغير هذا التوزيع في الحمولات نستطيع القول أن الغشاء غير من الاستقطاب التبخر (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 53).

- شوارد +Na توجد بتركيز كبير خارج الليف و بتركيز قليل بالداخل.
- شوارد +K توجد بتركيز كبير داخل الليف و بتركيز قليل خارجه.

هذا الفرق في التركيز في الايونات هو المسؤول عن كمون الراحة الغشائي.

1-2-2 زوال الاستقطاب و فرط زوال الاستقطاب:

في حالة ما إذا يصبح داخل الخلية أقل سلبية مقارنة بالخارج الفرق في الكمون عن طريق الغشاء ينخفض حيث يصبح اقل استقطابا. زوال الاستقطاب ينتج في كل مرة إذا كان الفرق في الحمولات الكهربائية أقل من – 70ملي فولط و يقترب من الصفر. نتيجة للتنبيه يتولد زوال الاستقطاب سريع على مستوى المنطقة المنبهة وهذا راجع للتغيير الحاصل في توزيع الايونات عند طرفي الغشاء الخلوي، حيث تنفتح قناة الصوديوم ويتم دخول سريع لشوارد الصوديوم +Na بينما تبقى قنوات البوتاسيوم مغلقة.

عندما يستمر تدفق شوارد +Na ينعكس الاستقطاب في المنطقة المنبهة، أي تصبح شحنة السطح الداخلي موجبة مقارنة مع شحنة السطح الخارجي فتنغلق قنوات الصوديوم وتفتح قنوات البوتاسيوم المرتبطة بالفولطية و يحدث انتشار لشوارد البوتاسيوم إلى الخارج مؤديا إلى عودة تدريجية لاستقطاب الغشاء. يحدث فرط الاستقطاب نتيجة لتأخر انغلاق قنوات البوتاسيوم المرتبطة بالفولطية، لكن تدخل مضخة الصوديوم و البوتاسيوم الفعال سرعان ما يؤدي إلى إرجاع تراكيز الايونات إلى نسبتها الأصلية و بالتالي تثبيت حالة استقطاب الغشاء التبخر (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 53).

1-2-3 الكمون المتدرج:

يرجع الكمون المتدرج نتيجة للتغيرات المحلية في الكمون الغشائي. حيث يبدأ من الاستقطاب وصولا إلى فرط الاستقطاب، الكمون المتدرج يحدث بسبب التغيرات المحيطية المحلية على مستوى العصبون و هو عامة ظاهرة محلية بينما زوال الاستقطاب يمكن أن يستمر و ينتشر بعيدا على طول العصبون.

1-2-4 كمون العمل:

يبدأ كمون العمل بزوال الاستقطاب بعد ذلك عودة الاستقطاب حيث يستمر حوالي 1 ملي ثانية، حيث يمكن القول أن كمون الغشاء ينعكس من -70 ملي فولط بزيادة +30 ملي فولط، بعد ذلك العودة إلى قيم الراحة. حيث أن موجة كمون العمل تبدأ من زوال الاستقطاب ثم عودة الاستقطاب. كل موجة كمون العمل تبدأ كموجة كمون عمل متدرج. عندما يكون التنبيه كافي من أجل نزع الاستقطاب على الأقل 15 إلى 20 ملي فولط، ينتج عن ذلك موجة كمون عمل هذا يعني أنه عندما يحدث زوال الاستقطاب، تكون موجة كمون الراحة (PRM) عند قيمة -50 إلى -55 ملي فولط. و

بالتالي فإن الخلية تكون قادرة على إحداث موجة كمون عمل. الحد الأدنى من زوال الاستقطاب المطلوب من أجل حدوث موجة كمون العمل يسمى عتبة التنبيه. كل زوال الإستقطاب أقل من هذه العتبة لا يتم تحفيز موجة كمون العمل. و في حالة مرور موجة كمون العمل الغشائي على سبيل المثال ، كمون الراحة (PRM) إلى -60 ملي فولط ، أين يكون الفرق 10 ملي فولط فقط لا يتم الوصول إلى عتبة التنبيه . وعلى العكس في حالة وصول زوال الإستقطاب إلى مستوى العتبة أو أكثر يكون هناك موجة كمون عمل . و هذا ما يسمى بقانون الكل أو لاشيء التبخر (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 54).

1-2-5 انتشار كمون العمل (propagation du potentiel d'action):

❖ **الغشاء الميليني (la gaine de myléne) :**

محاور أغلب العصبونات الحركية تحتوي على مادة الميلين، وهي مادة دهنية تعزل الغشاء الخلوي. حيث أن غشاء الميلين لا يكون مستمر بل هو متقطع في مناطق تسمى عقد رانفير. من أجل انتشار موجة كمون العمل يجب أن تقفز من عقدة إلى أخرى. و هذا ما يسمى بـ (la conduction saltatoire) (التوصيل القفزي).

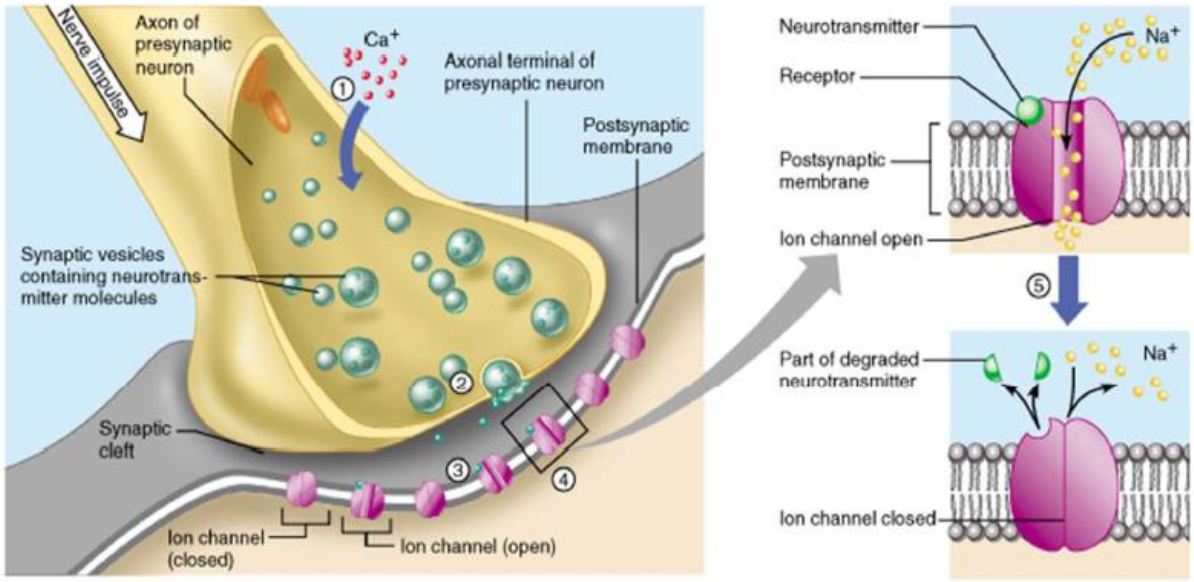
❖ **سمك المحور (le diamètre de l'axone) :**

سرعة انتشار السيالة العصبية ترجع كذلك إلى سمك و عرض المحور. المحاور التي لديها سمك كبير تنتشر من خلالها السيالة العصبية بسرعة مقارنة بالمحور الصغير في السمك.

1-3 المشبك (la synapse):

تنتشر السيالة العصبية على طول العصبون و تصل إلى النهايات المحورية. إتصال العصبونات مع بعضها البعض يكون عن طريق وسيط وهو المشبك. حيث أن المشبك بين عصبونين يتكون من:

- المحور النهائي للعصبون الناقل للسيالة العصبية (الغشاء القبل مشبكي).
- المستقبلات الغشائية للعصبون البعدي (الغشاء البعد مشبكي) .
- الفراغ بين العصبونين (الفراغ المشبكي).



صورة رقم (03): المشبك الكيميائي بين خليتين عصبيتين أين تظهر الحويصلات الإفرازية أو المشبكية (Berger F, 2012).

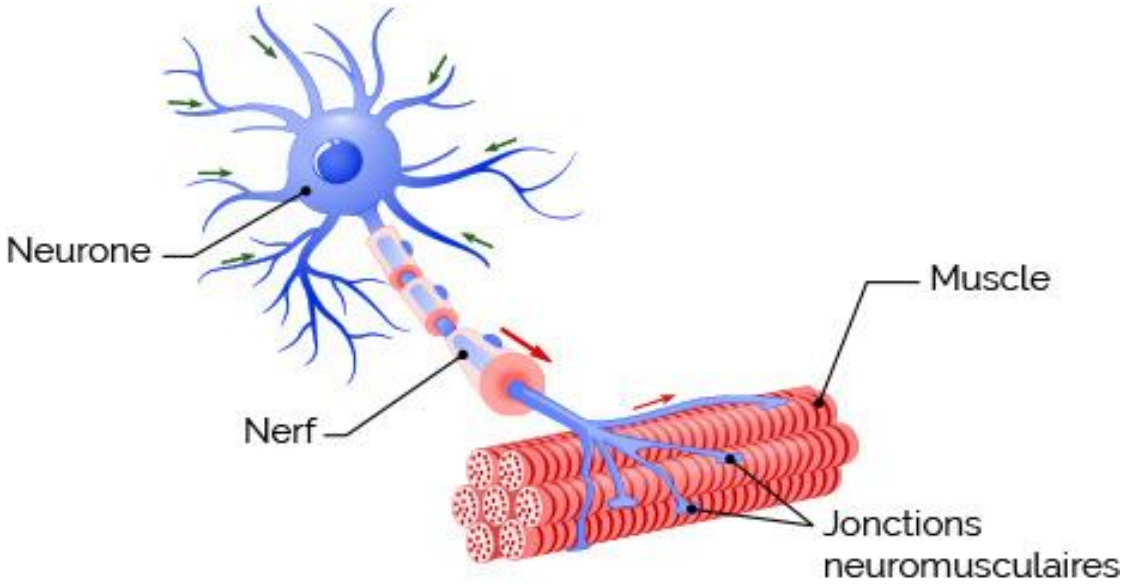
4-1 الرابطة العصبية العضلية (la jonction neuromusculaire):

يتصل العصبون الحركي مع الليف العضلي في منطقة تسمى الرابطة العصبية العضلية. حيث تعمل هذه المنطقة مثل المشبك، محور العصبون الحركي ينتهي بعدة تفرعات مشكلة اللوحة المحركة (plaque motrice).

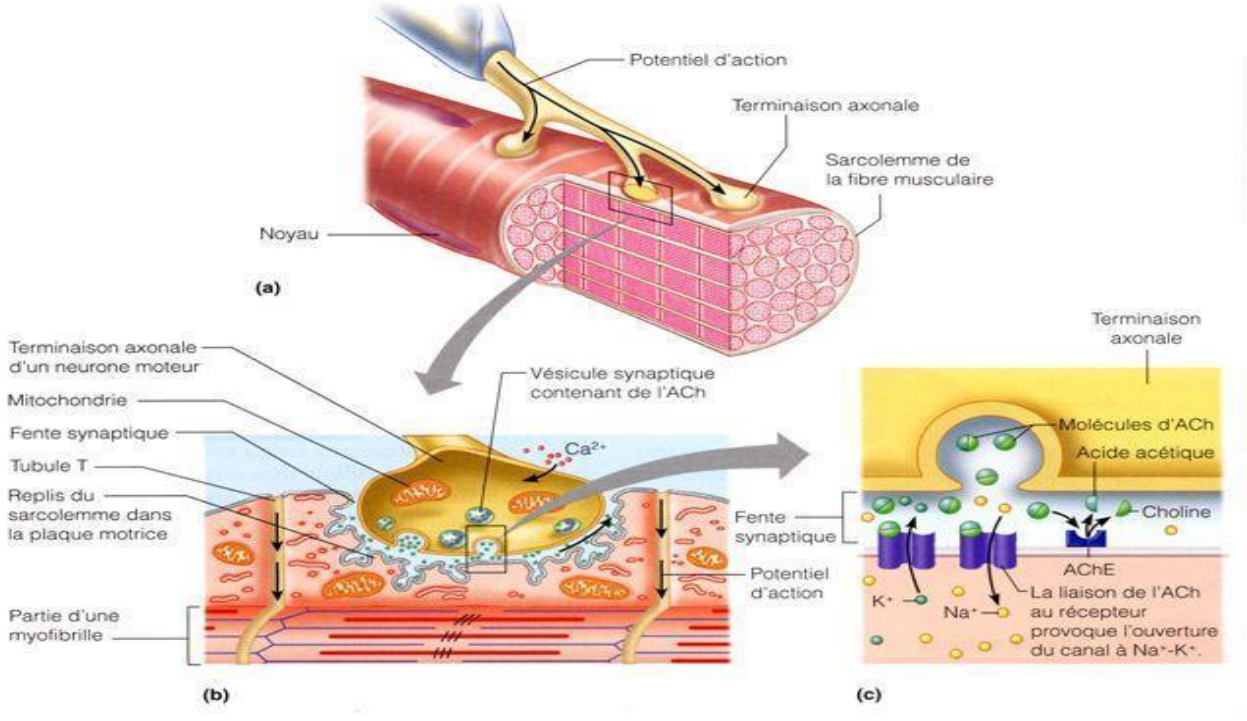
5-1 الوسائط الناقلة (les neurotransmetteurs) :

أكثر من 50 نوع من الوسائط الناقلة تم إحصائها، اغلبها عبارة عن جزيئات صغيرة لديها حركة سريعة (a)، بينما الأنواع الأخرى عبارة عن بيبتيدات عصبية تتدخل و تعمل ببطئ (b) .

حيث يعتبر كل من الاستيل كولين و النورادرينالين من الوسائط الناقلة الرئيسية التي تتدخل في الاستجابة الفزيولوجية عند التمرينات. الأستيل كولين وهو الوسط الناقل المحرر من طرف العصبونات الحركية التي تحفز العضلات الهيكلية و أغلب عصبونات الجهاز الباراسمبثاوي . حيث يطبق تأثير تحفيزي على ألياف العضلات الهيكلية المخططة. و على العكس يوجد تأثير تثبيطي على مستوى القلب. النورادرينالين يعتبر الوسيط الناقل لبعض الخلايا العصبية للجهاز السمبثاوي اين يكون له دور تثبيطي أو تحفيزي حسب نوع المستقبلات المطبقة . نقل السيالة يكون عندما يتم تثبيت الوسائط الناقلة على المستقبلات البعد مشبكية اين يتم بعد ذلك هدم الوسائط الناقلة عن طريق أنزيمات أو إعادة نقلها بنشاط نحو الحويصلات النهائية في منطقة الغشاء القبل مشبكي من أجل إعادة استخدامها في حالة انتشار سيالة عصبية أخرى (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 56).



صورة رقم (04) : الرابطة العصبية العضلية (plaque motrice) (Charline D, 2017)



صورة رقم (05): الرابطة العصبية العضلية (اللوحة المحركة). انتقال السيالة العصبية عن طريق المشبك وصولا إلى موجة كمون العمل أين تستجيب العضلة بعملية التقلص العضلي (zeller M) .

6-1 الاستجابة البعد مشبكية (la réponse postsynaptique):

تثبيت الوسيط الناقل ينتج عنه كمون متدرج على مستوى الغشاء البعد مشبكي. التنبيه الذي يصل إلى الغشاء قد يكون لديه تأثير تحفيزي أو تثبيطي، التنبيه التحفيزي ينتج عنه موجة زوال الاستقطاب و هذا

ما يسمى بكمون العمل البعد مشبكي التحفيزي (PPSE). التنبيه التثبيطي ينتج عنه فرط في الاستقطاب و هذا ما يسمى بكمون العمل البعد مشبكي التثبيطي (PPSI).

2- الجهاز العصبي المركزي(le système nerveux central (SNV):

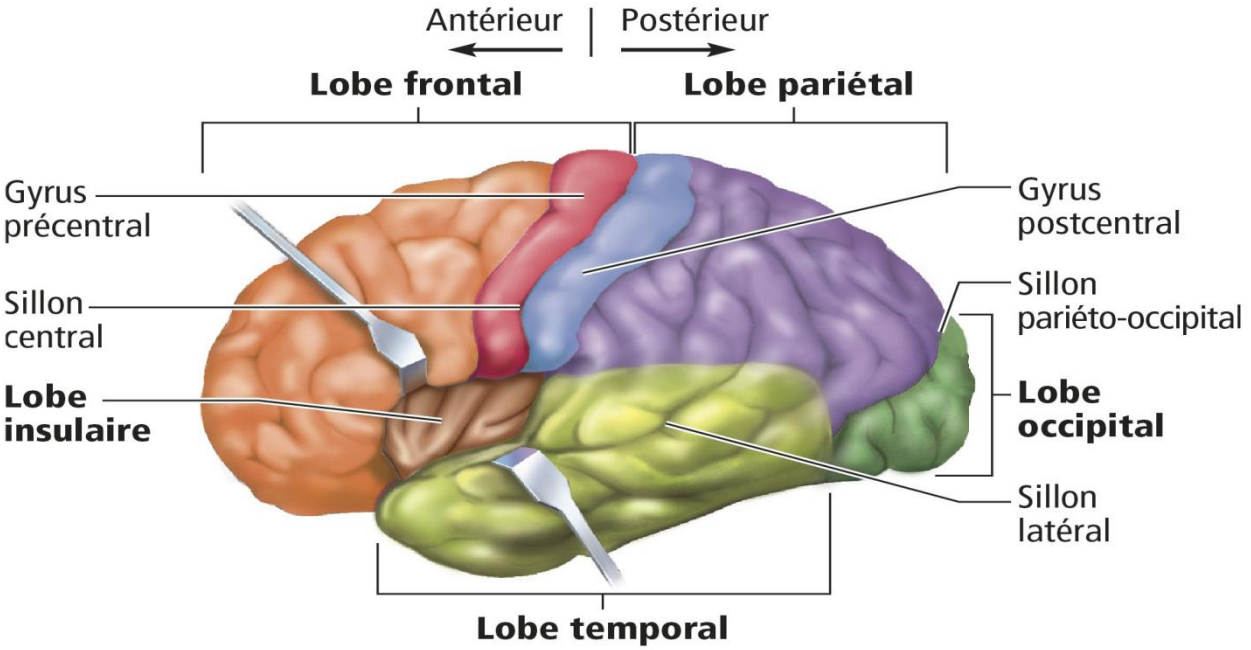
1-2 الدماغ (l'encéphale):

و هو يتكون من أربع مناطق رئيسية هي : المخ، الدماغ المتوسط، المخيخ، و الجدع الدماغي.

- **المخ (le cerveau):**

المخ يتكون من خمسة فصوص و هي أربع فصوص خارجية و فص مركزي :

- الفص الجبهي le lobe frontal : وهو متعلق بالوظائف الحيوية و المراقبة الحركية les fonctions intellectuelles et le contrôle moteur.
- الفص الصدغي Le lobe temporel: خاص بالوظائف السمعيةles fonctions auditives .
- الفص الجداري Le lobe pariétal : خاص بالوظائف الحسيةles fonctions sensitives .
- الفص الصدغي Le lobe occipital: خاص بالوظائف البصريةles fonction visuelles .

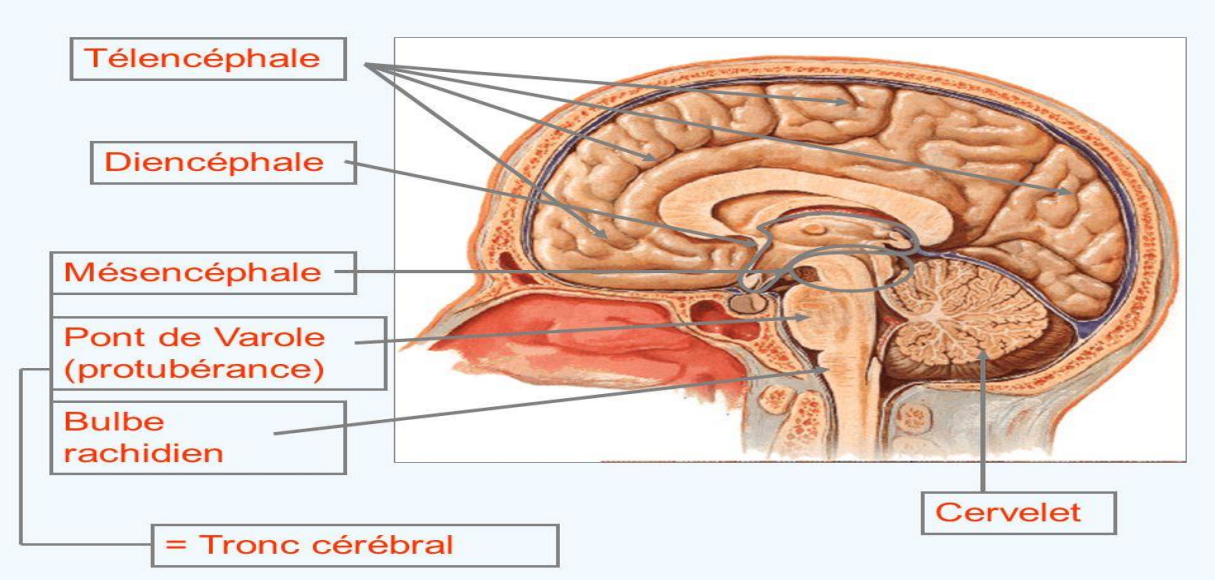


صورة رقم (05): الفصوص المكونة للمخ (Dubois N et Pelletier N, 2009.).

- **الدماغ المتوسط (Le diencéphale):**

هذه المنطقة من المخ تتكون رئيسيا من منطقة المهاد و تحت المهاد (thalamus et l'hypothalamus)، منطقة المهاد تنظم المعلومات الحسية التي تصل إلى المخ و تلعب دورا مهما في المراقبة الحركية. هذه المنطقة من المخ تتكون رئيسيا من منطقة المهاد و تحت المهاد (thalamus et

l'hypothalamus)، منطقة المهاد تنظم المعلومات الحسية التي تصل إلى المخ و تلعب دورا مهما في المراقبة الحركية (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 58).



صورة رقم (06): منطقة تواجد الدماغ المتوسط (diencéphale).

❖ **المخيخ (le cervelet):**

له علاقة مع عدة مناطق من المخ ، كما يشكا حوالي 11 % من حجم الدماغ ولكنه يحتوي على 50% من العصبونات. ومن بين أدواره (Neal D, 2014). :

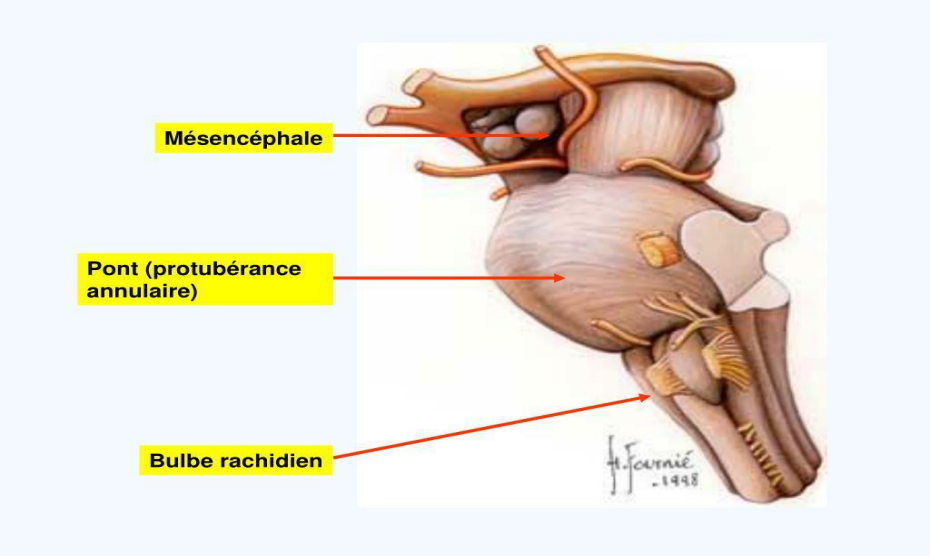
- الضبط الدقيق والتنسيق للحركات المعقدة التي تنتج في أماكن أخرى من الدماغ.
- تخزين تسلسل الحركات المتعلمة.
- التأثير على المراكز الحركية للقشرة والتي بدورها تعمل على العضلات.
- دمج كل شيء لإنتاج حركات سلسة ومتناغمة لم نعد ندركها.
- المحافظة على التوازن\الوقوف.

❖ **الجدع الدماغي (Le tronc cérébrale):**

الجدع الدماغي يتكون من دماغ وسيط mésencéphale ، الحدبة الحلقية la protubérance ou pont، و البصلة السيسائية bulbe rachidien. حيث تضمن الربط بين المخ و النخاع الشوكي، جميع الأعصاب الحركية و الحسية تقطع هذه المنطقة، الجدع الدماغي يحتوي على اغلب المراكز التنظيمية للجهاز العصبي الذاتي حيث يضمن مراقبة الجهاز التنفسي، القلبي الوعائي. كما يسمح الجدع الدماغي بالوظائف التالية (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 56):

- تنسيق الوظائف العضلية الهيكلية.
- المحافظة على الشكل العضلي.

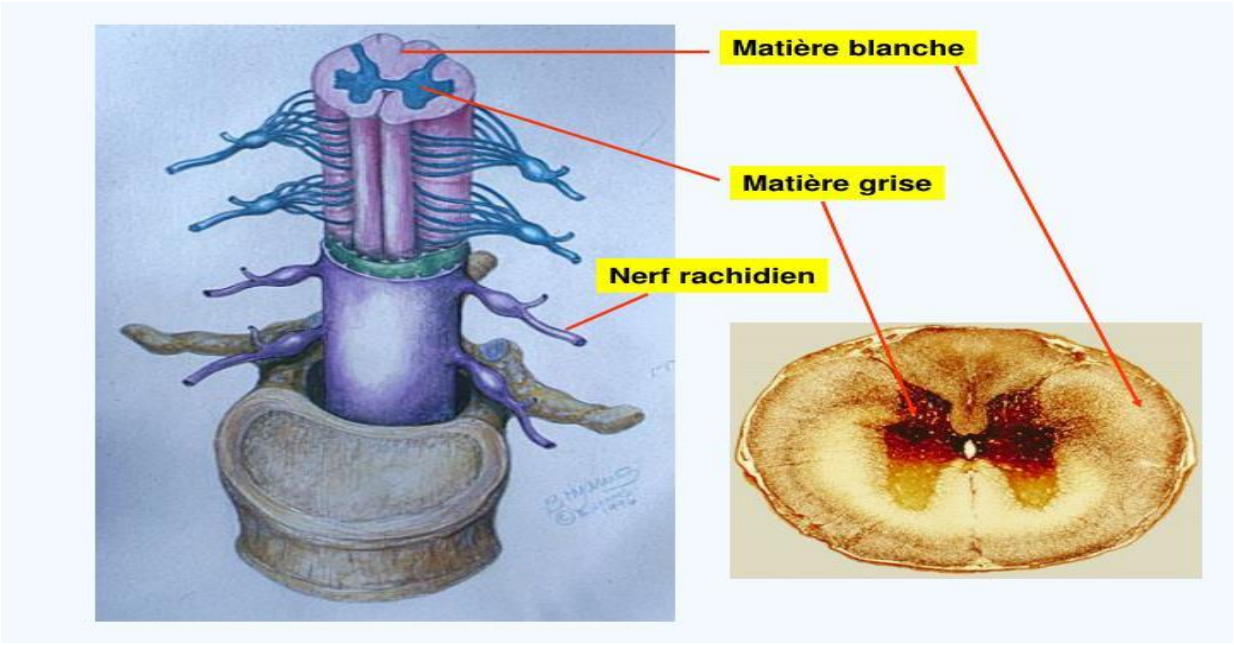
- ❑ مراقبة وظائف الجهاز القلبي الوعائي و التنفسي.
- ❑ تحديد حالة الوعي (النوم ، إستقاض).



صورة رقم (07): الجدع الدماغي الذي يتكون من (الدماغ الوسيط mésencéphale، الحدبة الحلقية la protubérance، و البصلة السيسائية bulbe rachidien) (Neal D, 2014).

2-2 النخاع الشوكي (la moelle épinière):

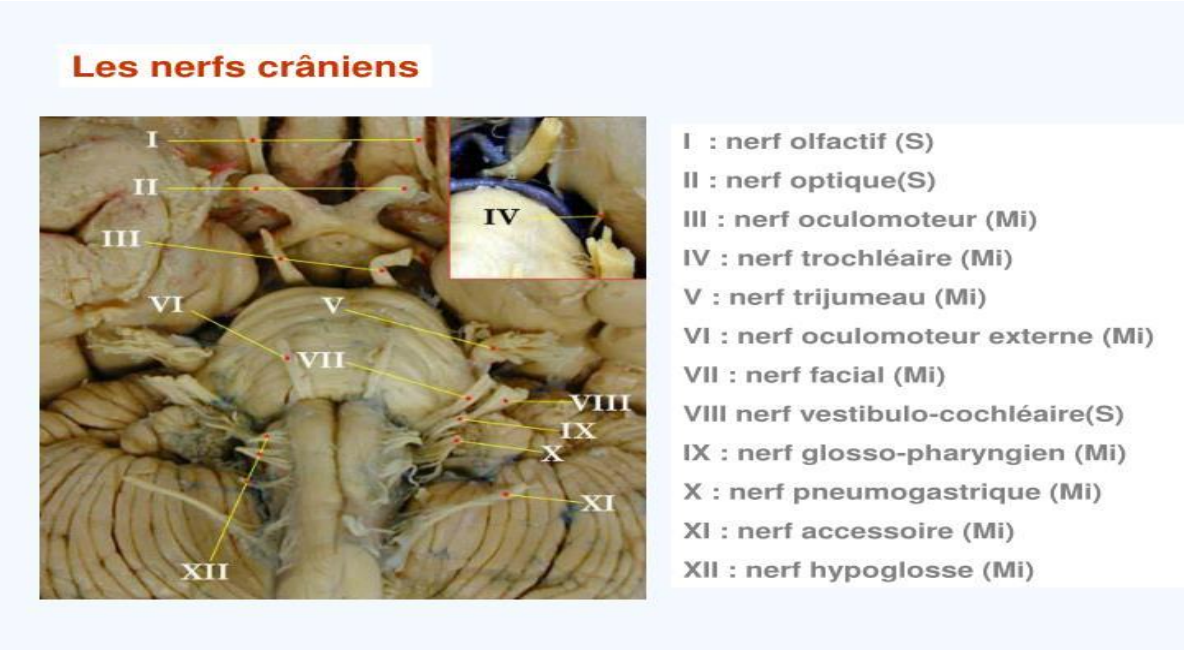
الجزء السفلي من الجدع الدماغي، البصلة السيسائية، يمتد عن طريق النخاع الشوكي، و هو يتكون من الألياف العصبية التي تضمن توصيل السيالة العصبية عند كلا الاتجاهين.



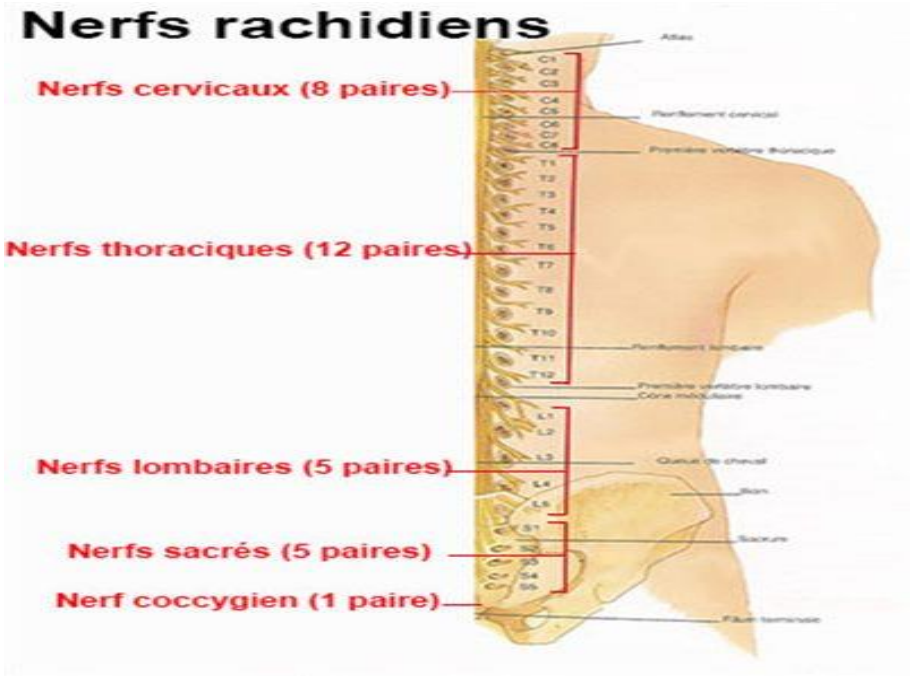
صورة رقم (08): النخاع الشوكي (المادة الرمادية، المادة البيضاء، الأعصاب الشوكية) (Neal D, 2014).

3-الجهاز العصبي المحيطي (le système nerveux périphérique (SNP)):

الجهاز العصبي المحيطي يتكون من 43 زوج من الأعصاب ، 12 زوج من الأعصاب الدماغية الموجودة في الدماغ المتوسط، و 31 زوج من الأعصاب الشوكية التي لها علاقة بالنخاع الشوكي.



صورة رقم (09): الأعصاب الدماغية (Neal D, 2014).



صورة رقم (10): الأعصاب الشوكية (8 أزواج رقبية، 12 زوج صدري، 5 أزواج ظهرية، 5 أزواج عجزية، 1 زوج عصعصي).

1-3 المسارات الحسية (Les voies sensitives):

المسارات الحسية للجهاز العصبي المحيطي تنقل المعلومات نحو الجهاز العصبي المركزي، و تحفز مختلف أجزاء الجسم مثل:

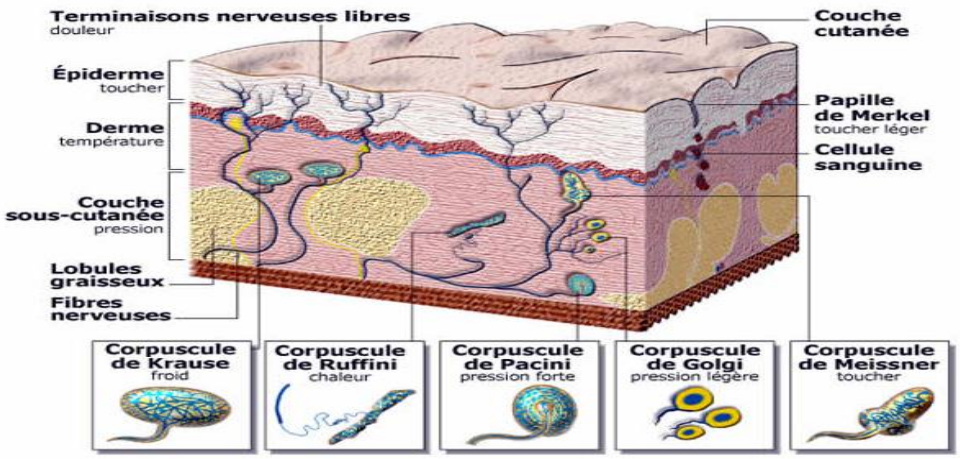
- الأوعية الدموية و اللمفاوية.
- الأعضاء الداخلية.
- أعضاء الحس (الذوق، اللمس، السمع، الشم، البصر).
- البشرة
- العضلات و الأوتار.

المراكز الحسية تستقبل معلومات المستقبلات و هي توجد في خمسة أنواع رئيسية هي (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 59):

- المستقبلات الميكانيكية mécanorécepteurs: التي تستجيب للاستخدامات الميكانيكية وهي القوة ، الضغط، اللمس، التمدد.
- المستقبلات الحرارية Les thermorégulation: التي تستجيب للتغيرات في الحرارة.
- المستقبلات الحساسة للألم les nocicepteurs: تستجيب للتنبيهات الألم.
- المستقبلات الحساسة للضوءLes photosensibles : الحساسة للضوء من أجل السماح بالرؤية.
- المستقبلات الكيميائية les chémorécepteurs: التي تستجيب للتنبيهات الكيميائية التي تحصل بسبب المواد الغذائية او التحولات في تركيز الدم (الأكسجين، غاز الكربون، الغلوكوز...الخ).

النهايات العصبية الحسية التي تحفز العضلات و المفاصل تكون بأنواع مختلفة و تقوم بوظائف متعددة و مهمة مثل :

- المستقبلات الحسية الحركية les récepteurs kinesthésique : وهي تتواجد في المفاصل حساسة للتغيرات في السرعة المفصلية. حيث تعلم حول وضعية حركات المفاصل.
- الأحزمة العصبية العضلية Les fuseaux neuromusculaires: التي تكتشف جميع التمددات في العضلة.
- أعضاء كولجي الوترية Les organes tendineuse de golgi : وهي حساسة للتوترات المطبقة من طرف العضلات على الأوتار، حيث تعلم بالتغيرات في قوة تقلص العضلات.



صورة رقم (11): المستشعرات الحسية للجلد (Dumortier B, 2020).

2-3 المسارات الحركية (Les voies motrices):

الجهاز العصبي المركزي يرسل المعلومات إلى جميع أجزاء الجسم وهذا بفضل المسار الحركي (efférentes) للجهاز العصبي المحيطي. عن طريق المخ و النخاع الشوكي الشبكة المعقدة للعصبونات التي تتوزع في جميع أنحاء الجسم تنقل الإشارات نحو جميع أنحاء الجسم بطريقة مختارة و مناسبة(Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 60).

3-3 الجهاز العصبي الذاتي (le système nerveux autonome):

الجهاز العصبي الذاتي (autonome ou végétatif) يعتبر جزء من المسار الحركي للجهاز العصبي المحيطي. حيث يراقب جميع الوظائف الداخلية اللاشعورية للجسم، مثل النبض القلبي، الضغط الشرياني، توزيع الكتلة الدموية، التنفس. كما ينقسم الجهاز العصبي الذاتي إلى جزئين كبيرين هما: الجهاز العصبي السمبثاوي و البراسمبثاوي.

❖ **الجهاز العصبي السمبثاوي (Le système nerveux sympathique):**

تأثير التحفيز السمبثاوي يعتبر مهم لدى الرياضيين حيث يظهر ذلك في (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 60).

- ❑ الرفع من النبض القلبي و قوة التقلص القلبي
- ❑ توسيع الأوعية الدموية التاجية و بالتالي زيادة مستوى التدفق التاجي .
- ❑ توسيع الأوعية الدموية على مستوى العضلات من أجل نقل كميات معتبرة من الدم إلى العضلات النشطة.
- ❑ الرفع من الضغط الشرياني مما يحسن من تدفق الدم العضلي و الرجوع الوريدي.
- ❑ تضييق الأوعية الدموية في مواقع أخرى و هذا يسمح بتوزيع الكتلة الدموية إلى العضلات النشطة .

- ❑ توسيع الشعيبات مما يسمح بتسهيل عملية المبادلات الغازية
- ❑ الرفع من المستوى الأيضي استجابة لزيادة الاحتياجات.
- ❑ تحفيز النشاط العقلي مما يحسن قدرات الإدراك .
- ❑ تحرير الكبد للغلوكوز في الدم.
- ➢ تحفيز الوظائف الكلوية و الهضمية.

❖ **الجهاز العصبي البراسمبثاوي (Le système nerveux parasympathique):**

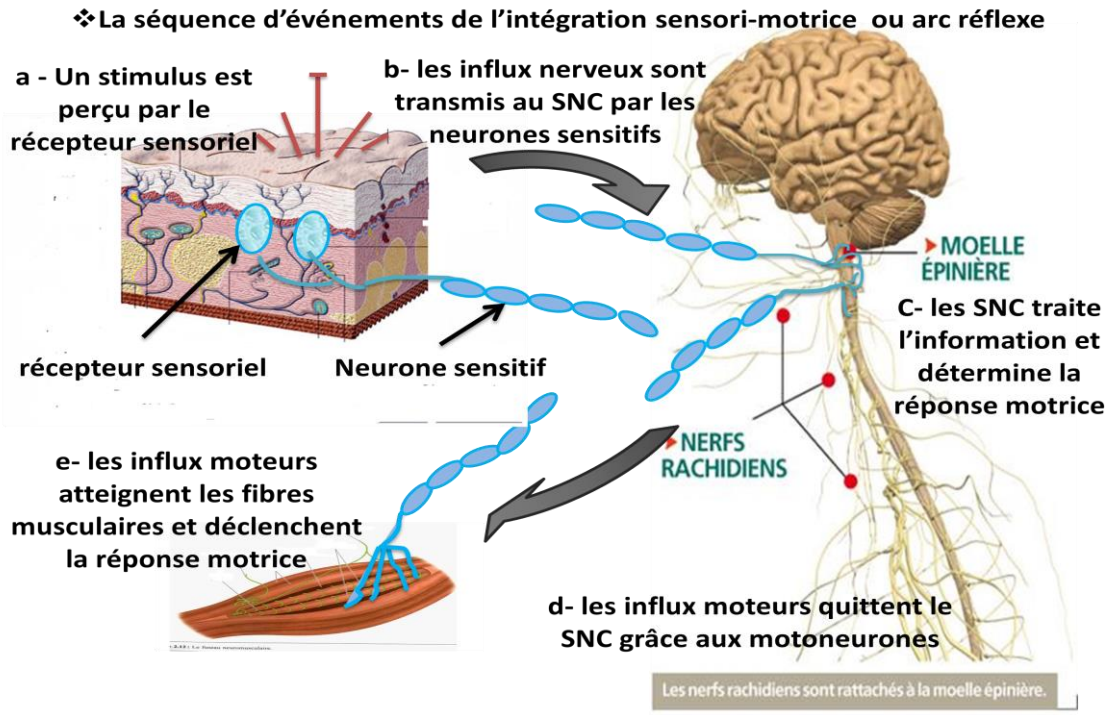
يعتبر الجهاز العصبي الباراسمبثاوي جهاز دفاعي حيث يلعب الأدوار التالية (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 60).

- ❑ يلعب دورا رئيسيا في الوظائف الهضمية، الكلوية، الإفراز الغدي، والاحتفاظ بالطاقة.
- ❑ يلعب دورا رئيسيا في المحافظة على التوازن الداخلي.
- ❑ يؤدي إلى التخفيض من النبض القلبي.
- ❑ تضييق الأوعية الدموية التاجية.
- ❑ تضييق الشعيبات الرئوية.

4- الإدماج الحسي الحركي (l'intégration sensori-motrice):

من أجل استجابة الجسم للتنبيه الحسي، المراكز الحسية و الحركية للجهاز العصبي يجب أن تعمل مجتمعة و هذا بالطريقة التالية:

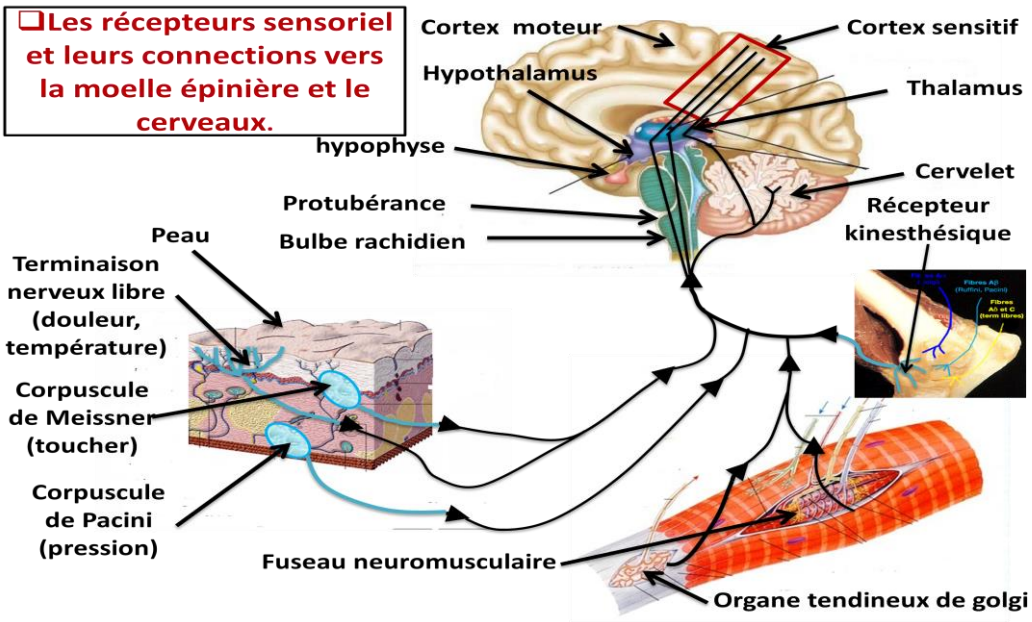
- ❑ التنبيه الحسي يستقبل من طرف المستقبلات الحساسة.
- ❑ العصبونات الحسية تنقل التنبيه إلى عصبونات الجهاز العصبي المركزي.
- ❑ عصبونات الجهاز العصبي المركزي تترجم المعلومات الواصلة وتختار الاستجابة الأكثر ملائمة.
- ❑ إستجابة الجهاز العصبي المركزي تنقل في شكل إشارات عن طريق العصبونات الحركية .
- ❑ التحكم الحركي ينقل إلى العضلات حيث تأتي الاستجابة.



صورة رقم (12): تسلسل أحداث الإدماج الحسي الحركي أو القوس الانعكاسي (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 62).

1-4 المعلومات الحسية (l'information sensitives) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 62):

- ❑ في حالة وصول التنبيه الحسي إلى النخاع الشوكي، الاستجابة عامة تكون عبارة عن رد فعل حركي بسيط.
- ❑ في حالة توقف التنبيه الحسي على مستوى الجدع الدماغي السفلي هذا يؤدي إلى استجابة حركية شبه شعورية. مثل مراقبة الاستقامة في حالة الوقوف و الجلوس.
- ❑ في حالة انتهاء التنبيه الحسي على مستوى المخيخ ينتج عن ذلك مراقبة حركية شبه شعورية، حيث يعتبر المخيخ كمركز للتنسيق ويسمح بتنفيذ حركات دقيقة و بدون انقطاع.
- ❑ فقط الإشارات الحسية الواصلة إلى منطقة المهاد هي التي تصل إلى حالة الشعور و الوعي.
- ❑ في حالة وصول الإشارات إلى قشرة المخ و هي المكان الأصلي للاستقبال، تكون الحركات مدركة، حيث تتواجد قشرة المخ الحسية الأولية في الفص الجداري التي تستقبل المعلومات الحسية القادمة من البشرة، العضلات، الأوتار و المفاصل.



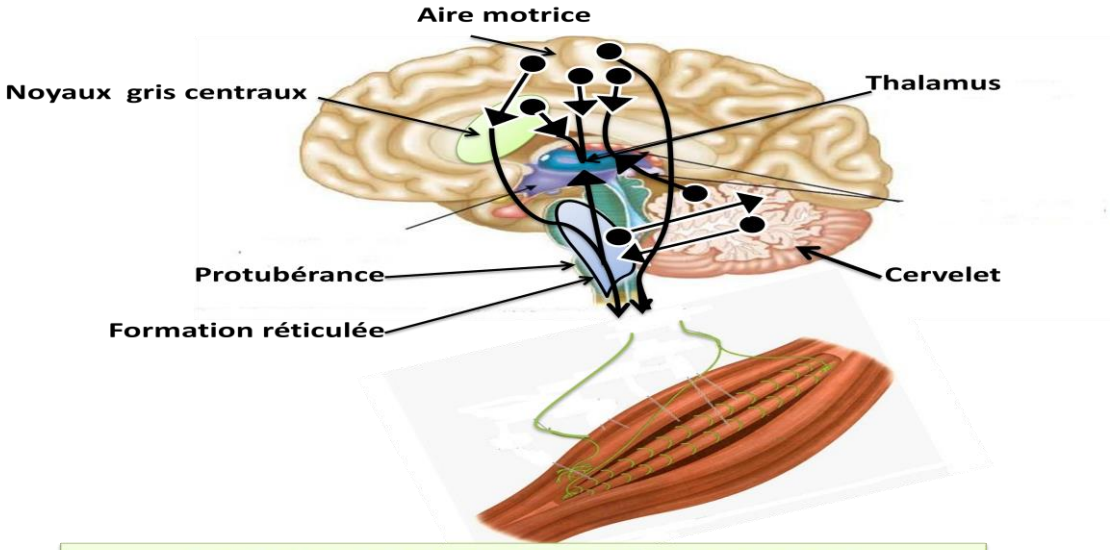
صورة رقم (13): المستقبلات الحسية و اتصالها مع النخاع الشوكي و المخ (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 63).

2-4 المراقبة الحركية (le contrôle moteur):

العضلات الهيكلية تحفز من طرف العصبونات الحركية الموجودة في ثلاث مناطق هي:

- ❑ النخاع الشوكي.
- ❑ المناطق السفلى من المخ.
- ❑ المنطقة الحركية من قشرة المخ.

الاستجابات الحركية للحركة المركبة تأتي أصليا من القشرة الحركية للمخ.



Les voies motrices du système nerveux

صورة رقم (14): المسارات الحركية للجهاز العصبي (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 64).

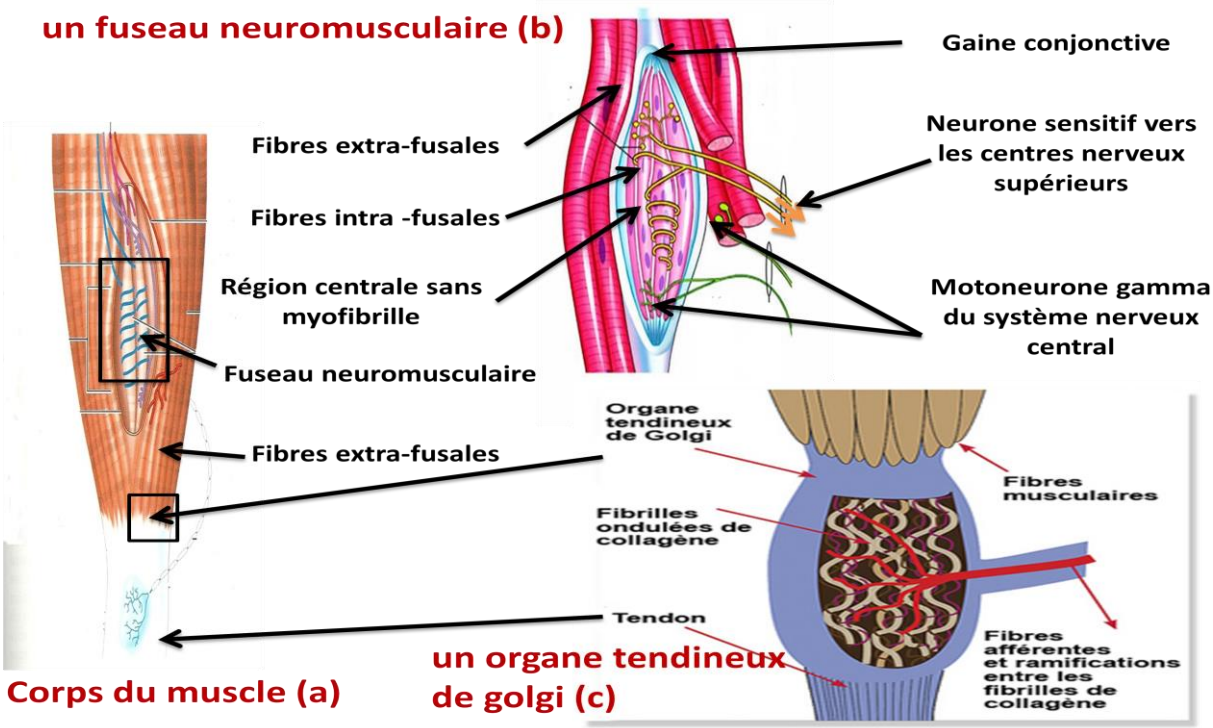
3-4 النشاط الانعكاسي (l'activité réflexe):

❖ **الأحزمة العصبية العضلية (les fuseaux neuromusculaire) :**

الأحزمة العصبية العضلية ، موجودة داخل العضلات الهيكلية و هي بالتوازي مع الألياف العضلية ، حيث تتكون الحزمة العصبية العضلية من من 4 إلى 20 ليف صغير خاص يسمى مابين الحزم و نهايات عصبية حسية و حركية تشترك في هذه الألياف .

❖ **أجهزة كولجي الوترية (les organes tendineux de golgi):**

ألياف كولجي الوترية هي مستقبلات حسية مغلفة تقطع من طرف بعض الألياف الوترية، هذه الأعضاء موجودة في المحيط القريب من الأوتار ، حوالي 5 إلى 25 ليف مرتبط و هي حساسة للتوترات الناتجة من طرف العضلات و الأوتار. وهو جهاز لتسجيل التغيرات في التوترات .



صورة رقم (15): جسم الخلية (a)، الأحزمة العصبية العضلية (b)، جهاز كولجي الوتري (c). حسب (Silverthorn D.U, 1998, human physiology).

4-4 المراكز العصبية العليا (les centres nerveux supérieurs) (Wilmore J H, Costill D L, 2006, P 66):

❖ **القشرة الحركية الأولية (les cortex moteur primaire):**

القشرة الحركية مسؤولة عن مراقبة الحركات الدقيقة و هي توجد في الفص الجبهي، العصبونات الموجودة في هذه المنطقة تسمى الخلايا الهرمية وهي تضمن المراقبة الشعورية لحركات العضلات الهيكلية، الأجسام الخلوية للخلايا الهرمية محتواها موجود في القشرة الحركية الأولية بينما المحاور تشكل المسار الهرمي و هي تسمى المسار القشري الشوكي.

❖ **الانوية الرمادية المركزية (les noyaux gris centr):**

الأنوية الرمادية المركزية لا توجد في قشرة المخ بل تشكل منطقة تحت القشرة وسط المادة البيضاء من المخ. و هي تتكون من مجموعة من الأجسام الخلوية. و هي تلعب دورا مهما في بداية الحركات الآلية و المكررة (مثل حركات التوازن، الحركات المركبة النصف إرادية مثل المشي و الجري) ، كما تساهم أيضا في المحافظة على الوقوف و الشكل العضلي.

❖ **المخيخ (le cervelet):**

يعتبر المخيخ رئيسيا في مراقبة كل الحركات السريعة و النشاطات العضلية المركبة . حيث يساهم كذلك في تنسيق ريتم و تسلسل النشاطات الحركية، و تسجيل و تصحيح النشاطات الحركية المبرمجة في جميع أنحاء المخ. المخيخ يساعد قشرة المخ الأولية و الأنوية الرمادية المركزية بمسح الحركات المتقطعة و المشوشة .

5-4 البرامج الحركية (les programmes moteurs):

التعاليم الحركية الخاصة يتم تخزينها في المخ من أجل إعادة استعمالها في حالة الاحتياج إليها. هذه المخططات تخزن و تعرف باسم البرنامج الحركي، حيث تخزن المعلومات في المساحات الحسية و الحركية من المخ، المخطط الحركي البطئ يخزن في المساحة الحسية بينما الحركات السريعة تخزن في المساحة الحركية.

قائمة المراجع

- **Berger F,** Biologie cellulaire du système nerveux centrale Chapitre 3 (Partie 1): la cellule neuronale, université Joseph Fourier de Gronoble, 2011-2012.
- **Charline D**, *La myasthénie acquise. Orphanet. Octobre 2017.* **Zeller M** , le systéme musculaire , université de bourgogne.
- **Dubois N, Pelletier N**, biologie humaine , 1re Édition, édition de Boeck, paris, 2009.
- **Dumortier B,** Quels sont les mécanismes sous-jacents au mouvement ? Le sensoriel tactile palmaire et plantaire au service du mouvement, val de marne , 2020.
- **Neal D**, Anatomie fonctionnelles de système nerveux, 2014 https://www.slideserve.com/daquan-neal/anatomie-fonctionnelle-du-syst-me-nerveux.
- **Silverthorn D.U,** human physiology, 4éme édition, madrid espana , 2009 .
- **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.