الصرف الطاقوي

La Dépense énergétique

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.

عند نهاية القرن العشرين قام كل من Zuntz et hagemann 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 .

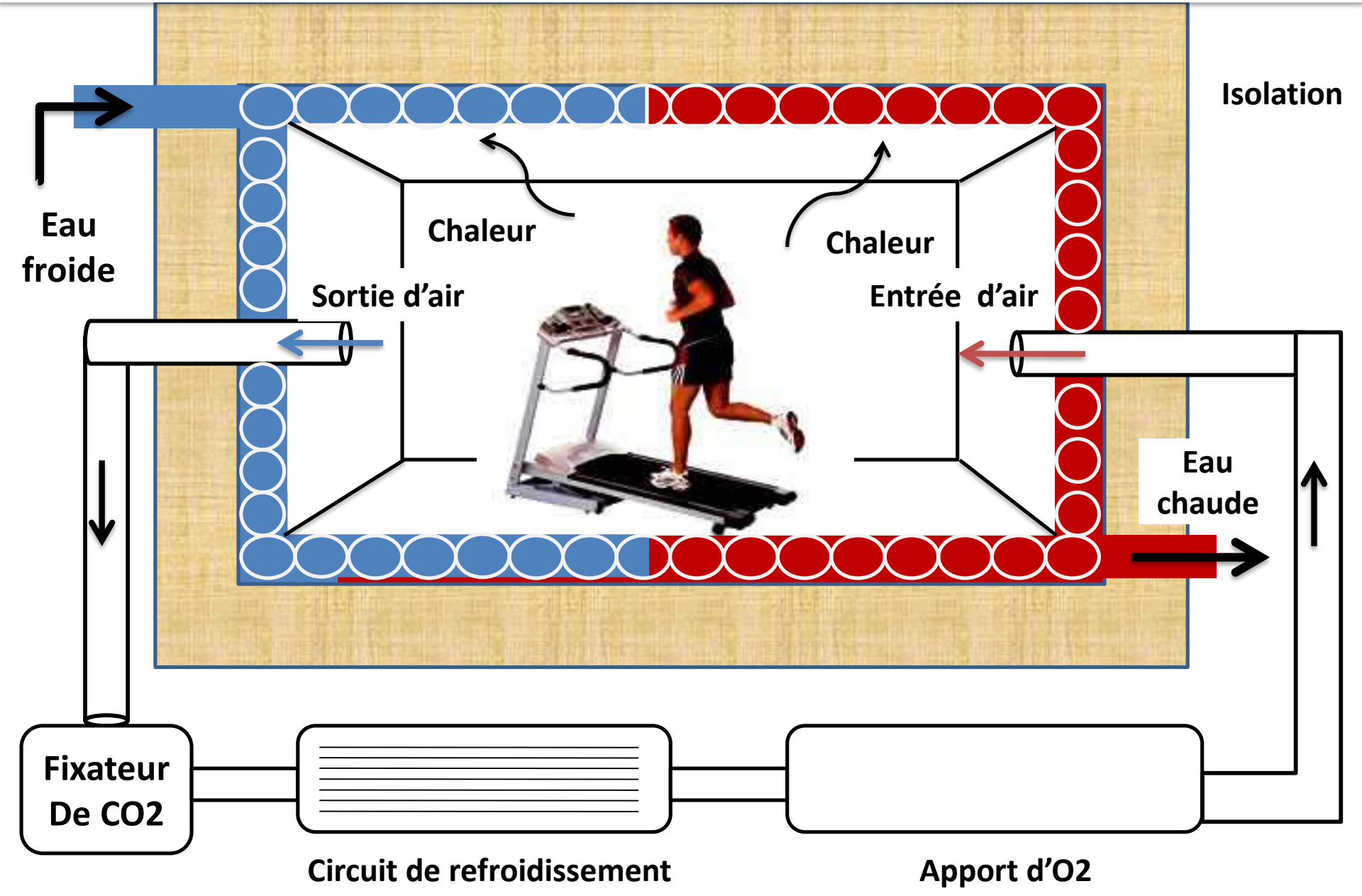
- الحرارة المنبعثة من طرف بعض الأجهزة أو الدراجات مثل بساط الجري تفسد القياسات.

- 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.

Chambre algorithmique la chaleur produite par le sujet est transmise à l'air et aux parois de l'enceinte (par radiation , conduction, convection, et évaporation) elle peut être mesuré en enregistrant les variation de température de l'aire et de l'eau qui circuit autour de la chambre



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.

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 O_2 و CO_2، تبقى الطرق البسيطة و القديمة (المعالجة الكيميائية للغازات) الأكثر صحة.

Calorimétrie indirecte : mesure des échanges gazeux respiratoires

calcule de la consommation d’oxygène et de dioxyde de carbone
1-2 قياس إستهلاك الأكسجين و ثاني أكسيد الكربون

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 la transformation de Haldane

خلال عدة سنوات عمل الباحثين على تبسيط حساب استهلاك O2و إنتاج غازCO2
بعض قيم المعادلات الحسابية تعتبر معروفة و لا تتغير، نسبة الغازات الثلاثة في الهواء المتنفس محددة بدقة وهي(N2) 79,03% ,CO2 0,04% ,d'O2 20,93%

- **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 ثابث 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
- هذه المعادلة يمكن إعادة كتابتها بالطريقة التالية: **VI x FIN2 = VE x FEN2(1)**
- **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 :

$$VO_2 = (V_E) \times \left[\left[\left(1 - \left(F_EO_2 + F_ECO_2\right)\right) \times (0{,}265)\right] - (F_EO_2)\right]$$

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)

الغلوكوز ($C_6H_{12}O_6$) يتكون من 6 جزيئات من الكربون. أثناء عملية الحرق ، 6 جزيئات من الاكسجين تستخدم و ينتج 6 جزيئات من CO_2، و 6 جزيئات ماء H_2O و ATP 38

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

$QR = VCO_2/VO_2 = 6CO_2/6O_2 = 1$

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 CO_2 و H_2O يجب أن يتوفر 23 جزيئة من O_2

$16C + 16O_2 \qquad 16CO_2$

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

Totale 24 O_2 consommée

جزيئة واحدة من O2 تستخدم من طرف حمض البالميتيك بينما 23 جزيئة من O2 تستخدم وفق المعادلة التالية :

$$C_{16}H_{32}O_2 + 23\ O_2 \longrightarrow 16CO_2 + 16H_2O + 129\ ATP$$

$QR = VCO_2/VO_2 = 16/23 = 0,70$

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 .

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

- طرح غاز CO_2 يكون أقل ثباتا، محتوى الجسم من CO_2 يكون معتبر ويمكن أن يتغير ببساطة بعد فرط في التهوية أو عند إنجاز تمرين بشدة عالية.
- كمية CO_2 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- la dépense énergétique au repos et à l'exercice
3- الصرف الطاقوي في الراحة و عند التمرينات

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

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

سرعة الجسم في استخدام الطاقة ترجع إلى المستوى الأيضي. في الراحة يستهلك الشخص حوالي 0,3 Min^{-1}. LO_2 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.

Kcal/j= litres d'O_2 consommés par jour X Kcal utilisé par litre d'O_2

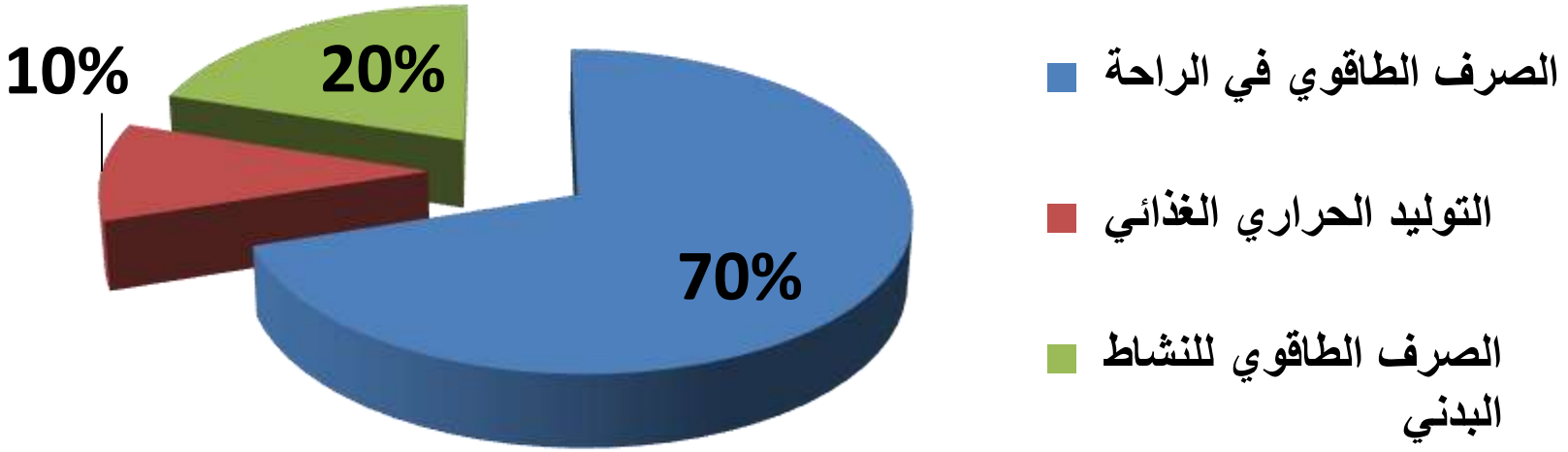
= (432 L^{-1} O_2/j) x(4,80 Kcal/ L^{-1} O_2) = 2073,6 Kca/j

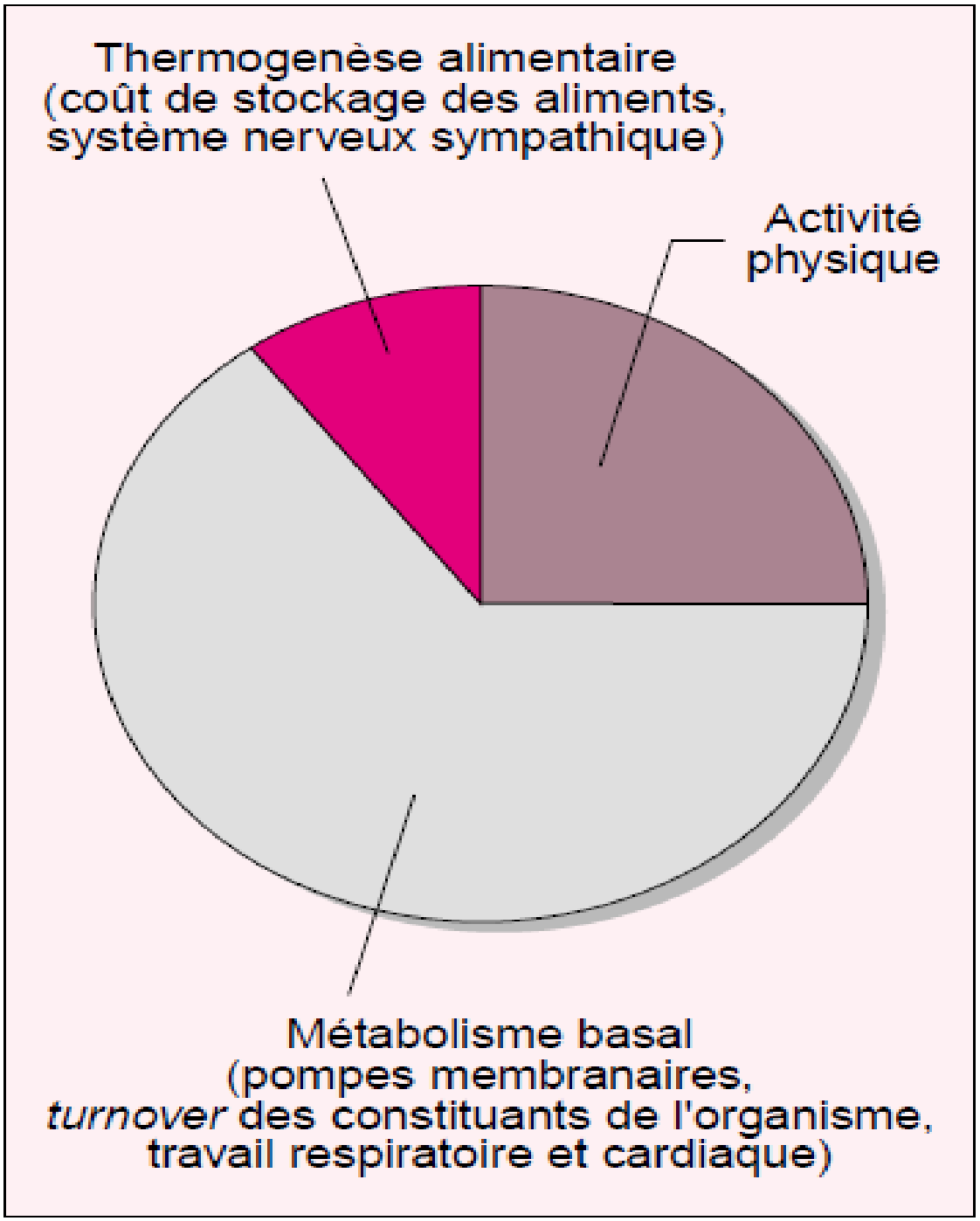
حيث أن استهلاك 1 لتر من الأكسجين = صرف طاقوي قدره 4,80 كيلوكلوري

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 Luc, Guenat Eliane, 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 Luc, Guenat Eliane, 2000, P 1063) .

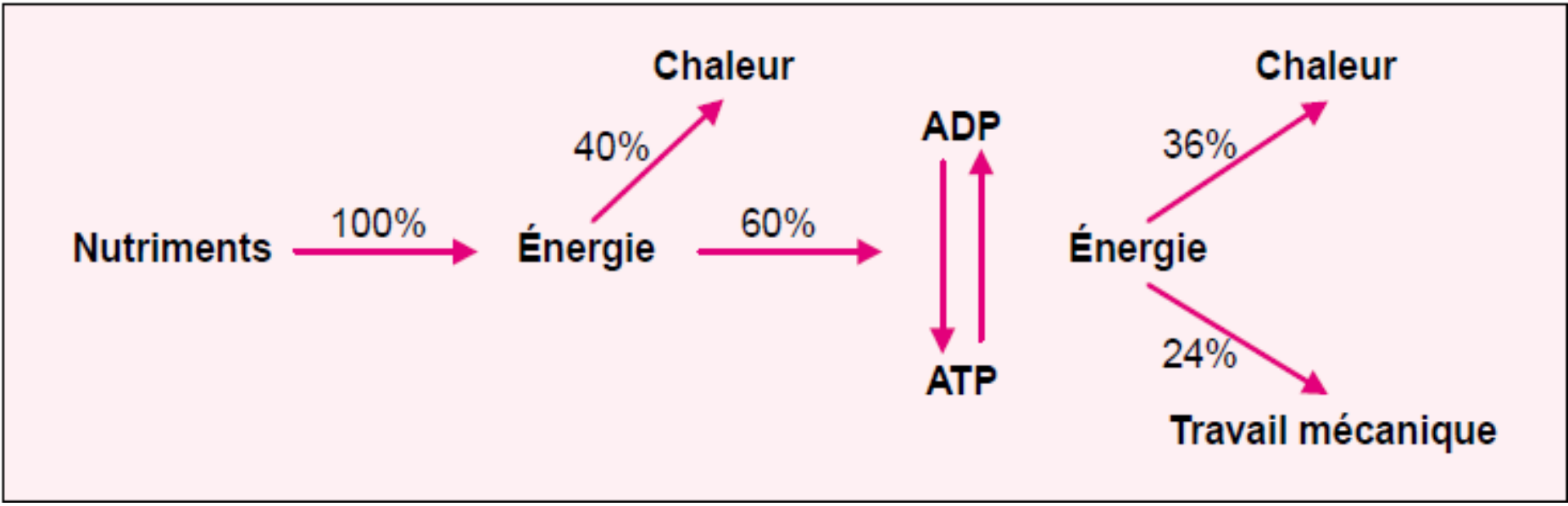
تمثيل بياني يوضح النسبة المؤوية للصرف الطاقوي في حالة الراحة ، التوليد الحراري الغذائي، الصرف الطاقوي للنشاط البدني الرياضي





مكونات الصرف الطاقوي لمدة 24 ساعة لدى شخص عادي (أكبر مستويات الصرف الطاقوي 60 إلى 70% تمثل الصرف الطاقوي للعمليات الأيضية القاعدية، 20 إلى 30 % تمثل النشاط البدني للشخص العادي) , (Tappy L, Guenat E, 2000)

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)

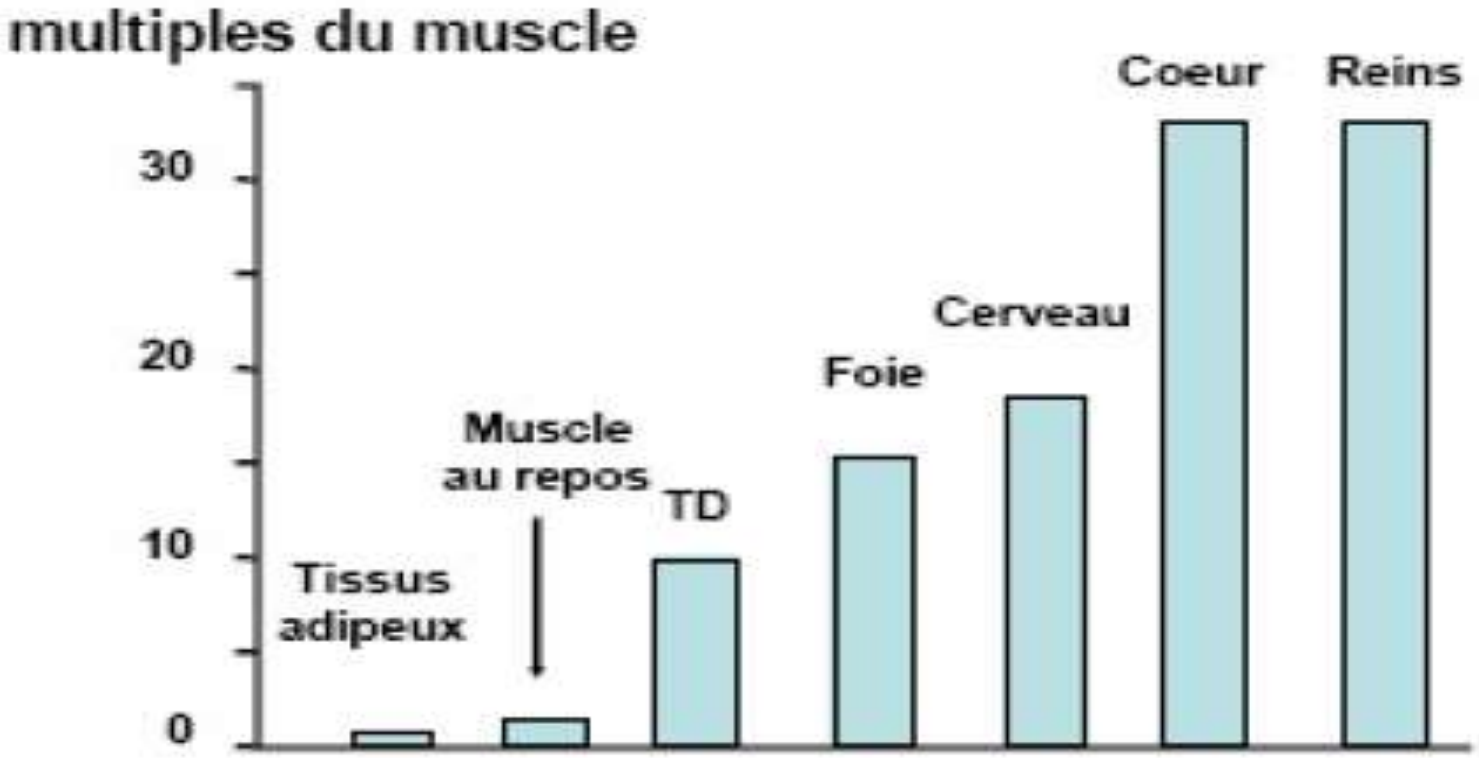


العوامل الأساسية التي تؤثر على مستويات الصرف الطاقوي للإنسان (Jéquier E, 1980).

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

G Pérès, 2005

Activité métabolique de quelques tissus et organes



A l'exercice : Mb ↗ (jusqu'à x 200)

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.

الكتلة الكلية للجسم (la masse 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\م^2).

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:

- 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.

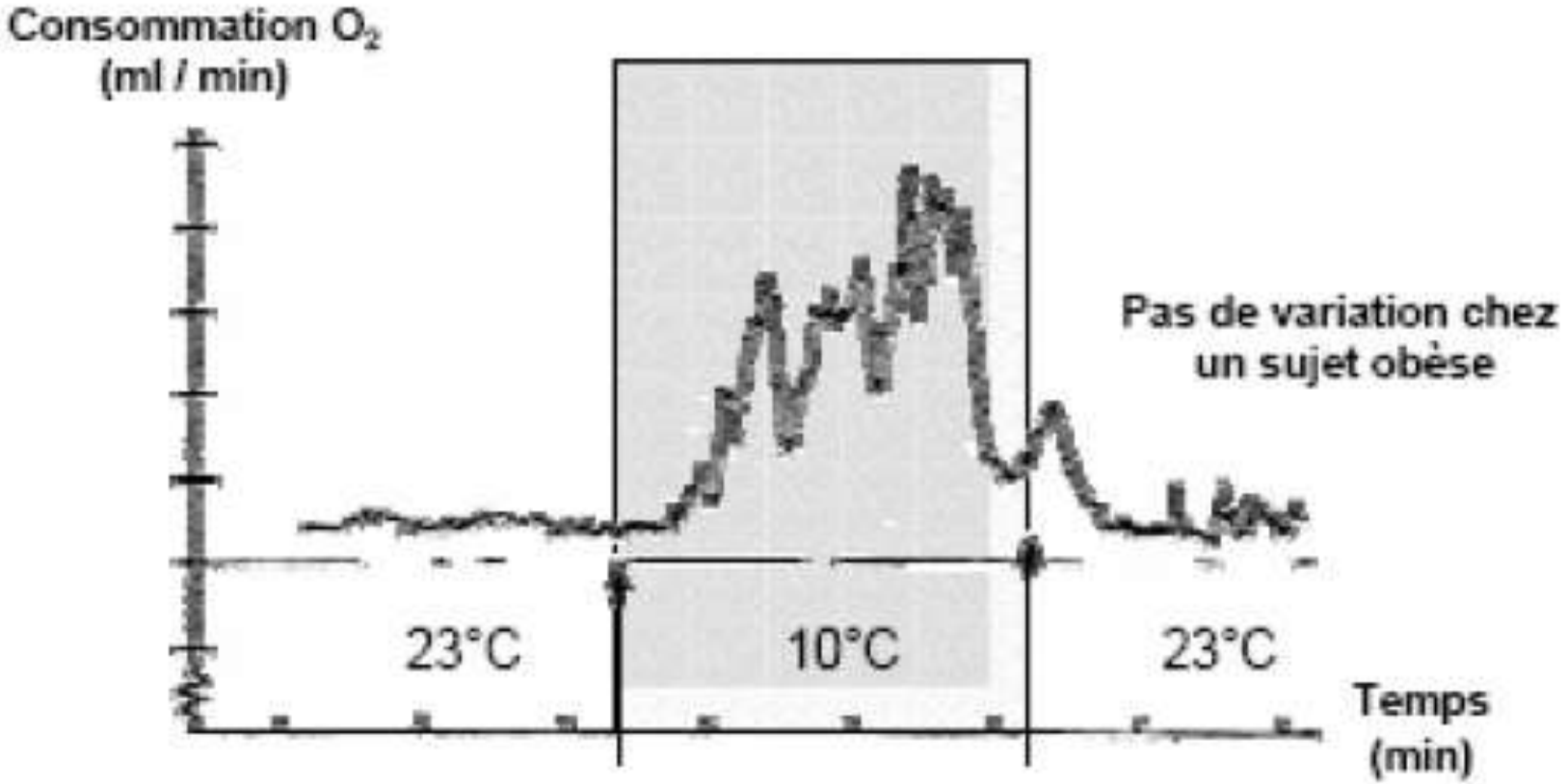
6-3 الصرف الطاقوي للنشاطات البدنية le cout énergétique des activités physiques

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 .

Influence de la température ambiante sur le métabolisme de base



(Buskirke, 1980)

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 :

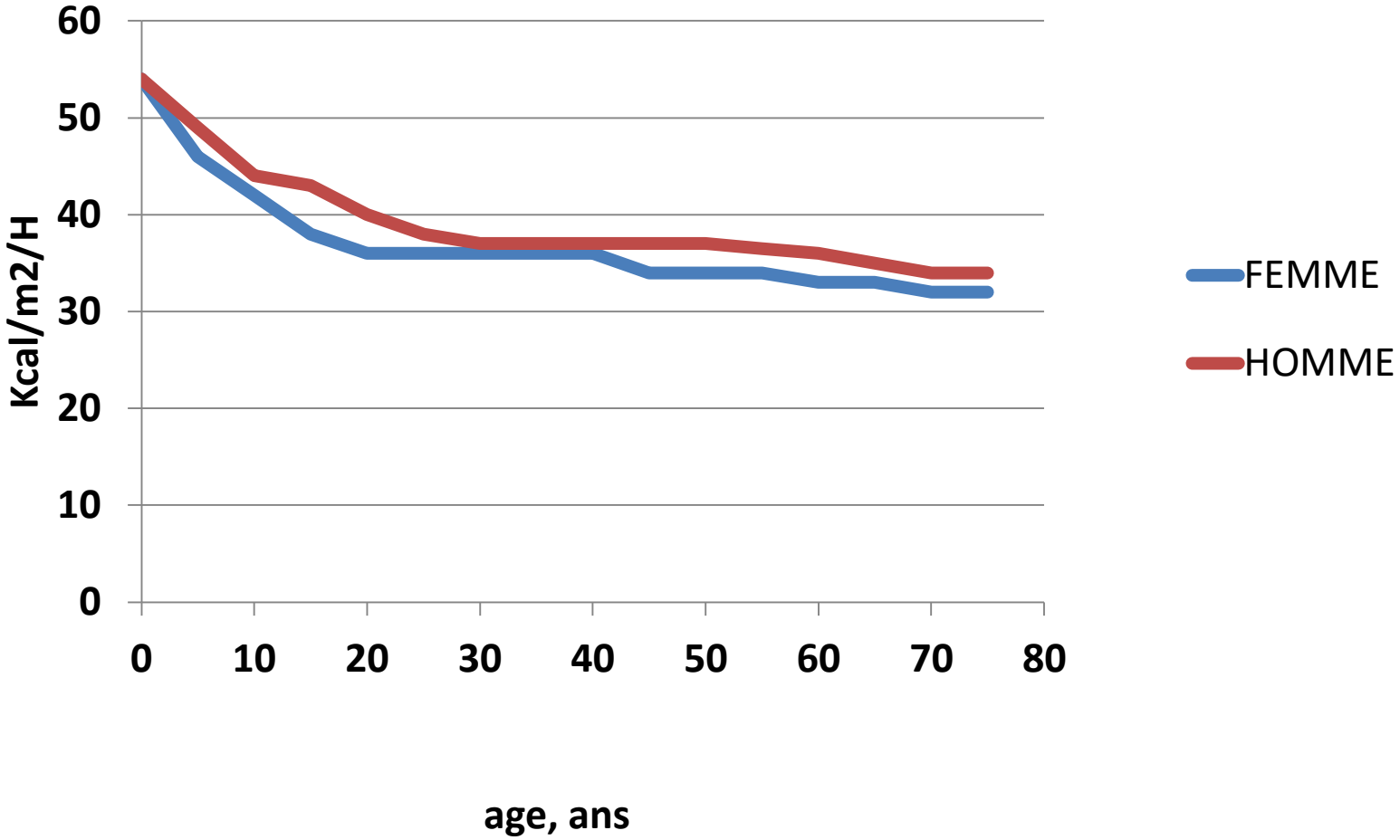
DER = 655.0955 + (9.5634 x P) + (1.8496 x T) – (4.6756 x A)

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

La DER est calculée en kcal/j

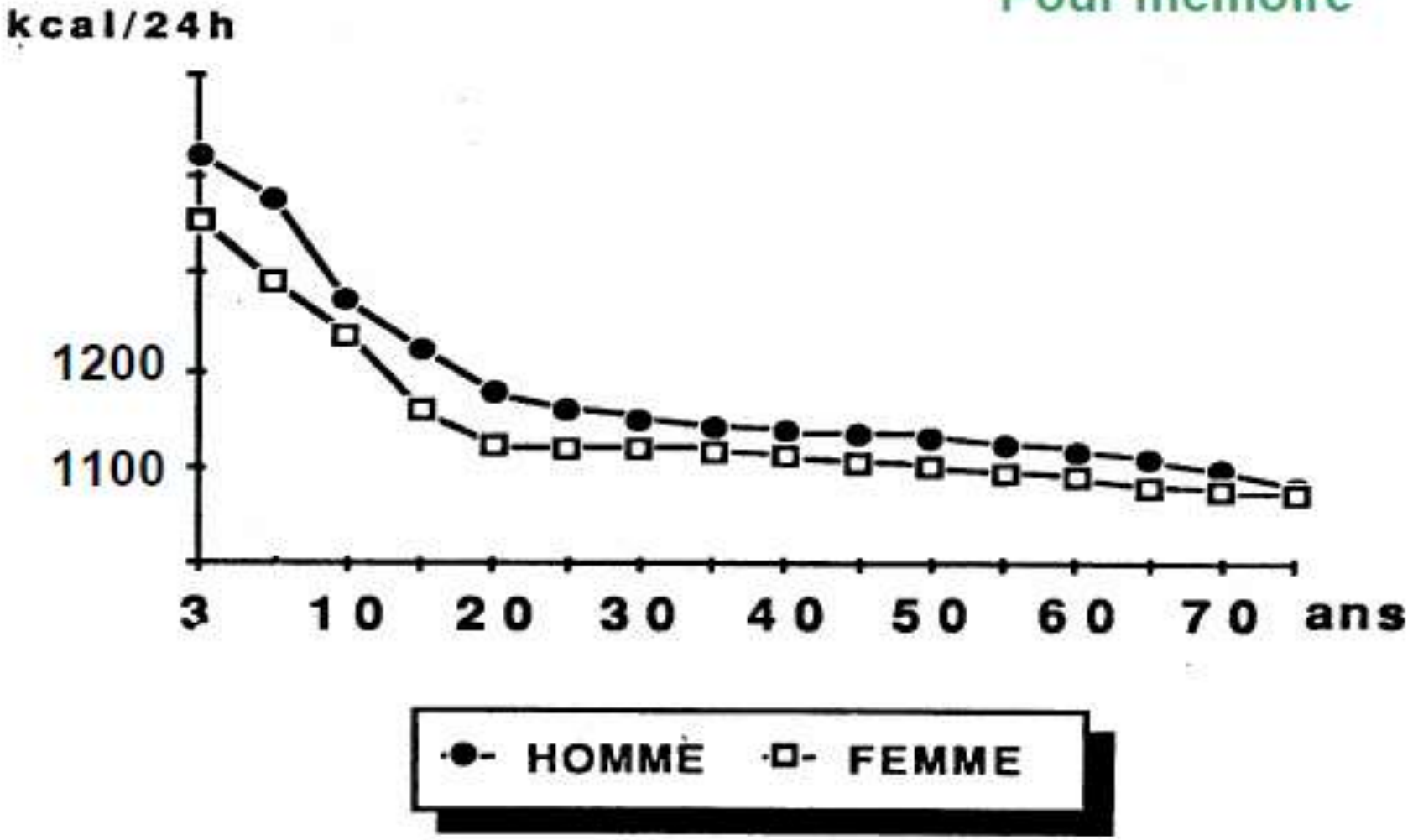
Anne-Julie Vial, (2013)

métabolisme de repos en fonction de l'age et de sex (altman P.L et Dittmer D, 1968)



G Pérès, 2005

Pour mémoire

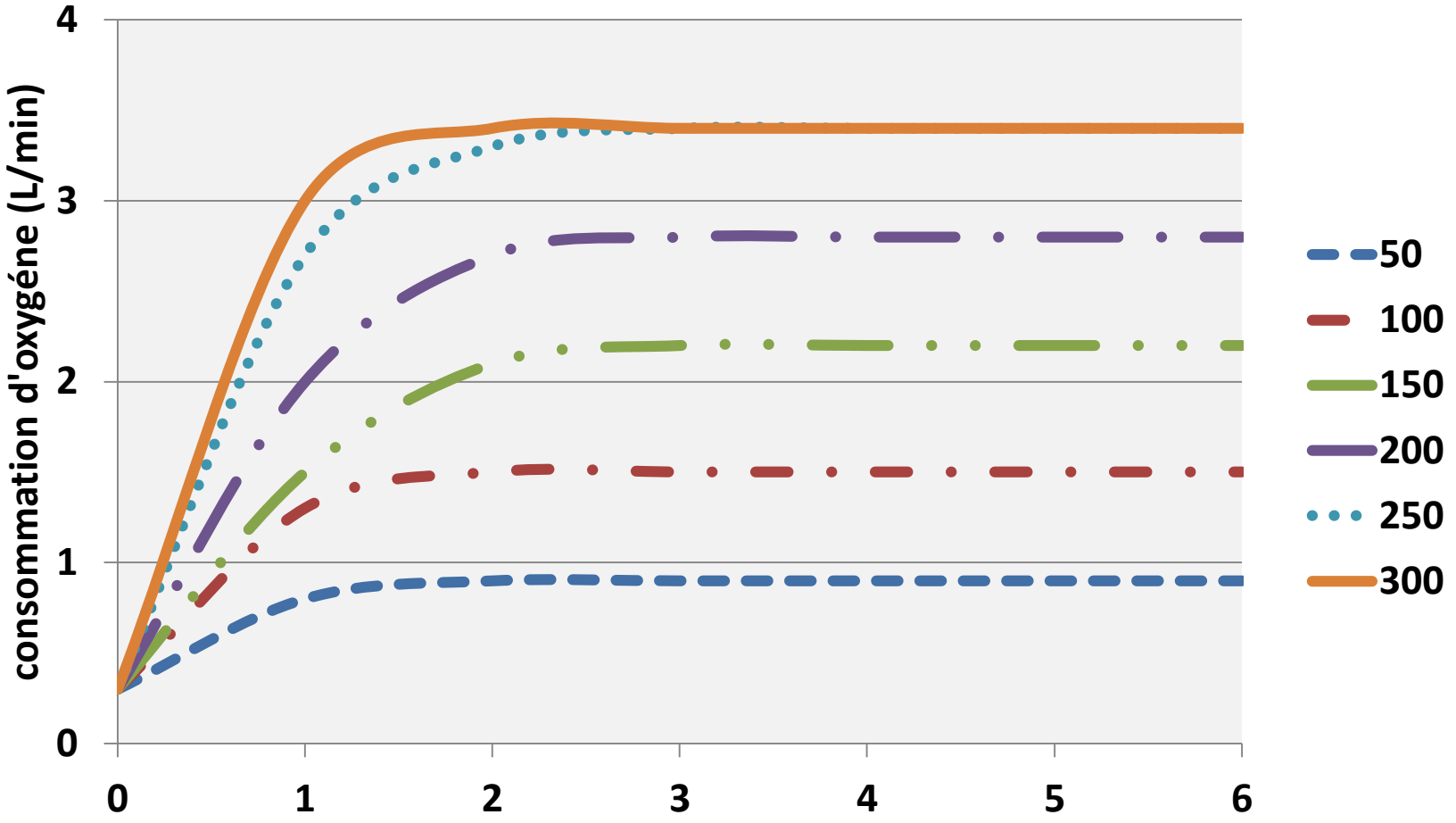


■ DER en fonction de l'âge et du sexe

3-2 le débit métabolique au repos et a l’exercice
2-3 المستوى الأيضي في الراحة و عند التمرينات .

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.

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



3-3 la consommation maximale d'O_2 ou capacité maximale lors de l'exercice aérobie

3-3 الاستهلاك الأقصى للأكسجين أو القدرة القصوى أثناء التمرينات الهوائية.

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_2max حيث يعتبر كأحسن قياس بسيط للمداومة القلبية التنفسية و العمل الهوائي.

أغلب العدائين يمكن أن ينجزون مراطون 42 كلم عد
سرعة متوسطة تمثل 75 إلى 80% من قيمة VO_2max، 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_2max حوالي 38 إلى 40 مل\كلغ\د، لدى النساء بينما لدى الرجال قيمة VO_2max تصل من 44 إلى 50 مل\كلغ\د، بعد 25 إلى 30 سنة قيم VO_2max لدى الأشخاص الغير نشطين تنخفض هذه القيمة حوالي 1% في السنة، وهذا تحت تأثير العمر و الشيخوخة، النساء البالغات لديهم قيم عامة لـ VO_2max 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) .

3-4 la consommation d’oxygène a l’arrêt de l’exercice
4-3 إستهلاك الأكسجين عند التوقف من التمرينات

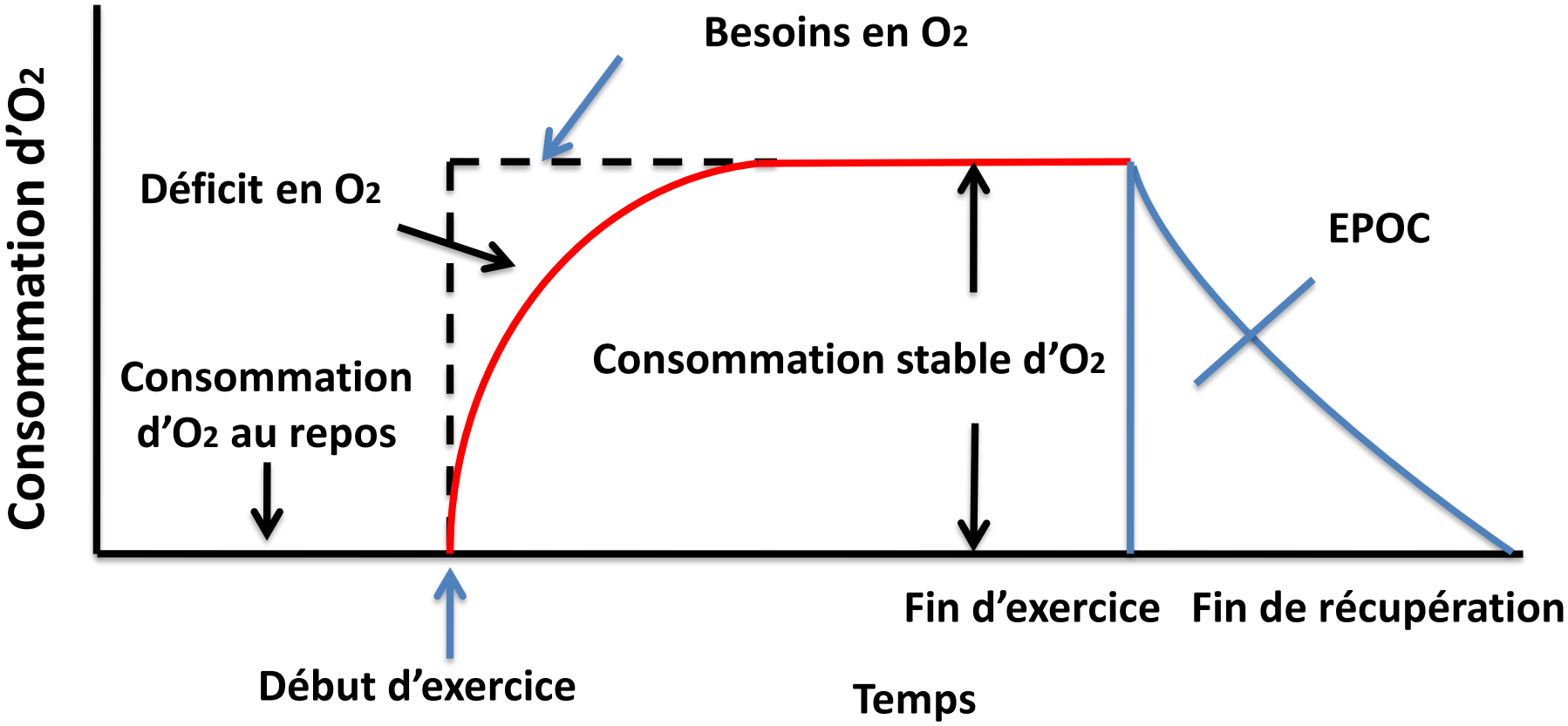
يسجل الجسم نقص أو عجز في الأكسجين، حتى عند أداء تمرينات بشدة ضعيفة. النقص في الأكسجين يحسب عن طريق الفرق بين مستوى الأكسجين الواصل إليه عند تمرين بشدة معينة (Steady-state) و كمية الأكسجين المستهلكة عند شدة معينة، بالرغم من نقص نسبة الأكسجين، تعمل العضلات على إنتاج كمية ATP اللازمة للعمل العضلي عن طريق 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 excès de consommation d’ oxygène post-exercice)، (EPOC= 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 .

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.

Les besoins en oxygène à l'exercice et pendant la récupération
Illustration du déficit d'oxygène et de l'excès de consommation d'oxygène post exercice (EPOC)



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.

3-5 les seuils lactique العتبة اللبنية

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.

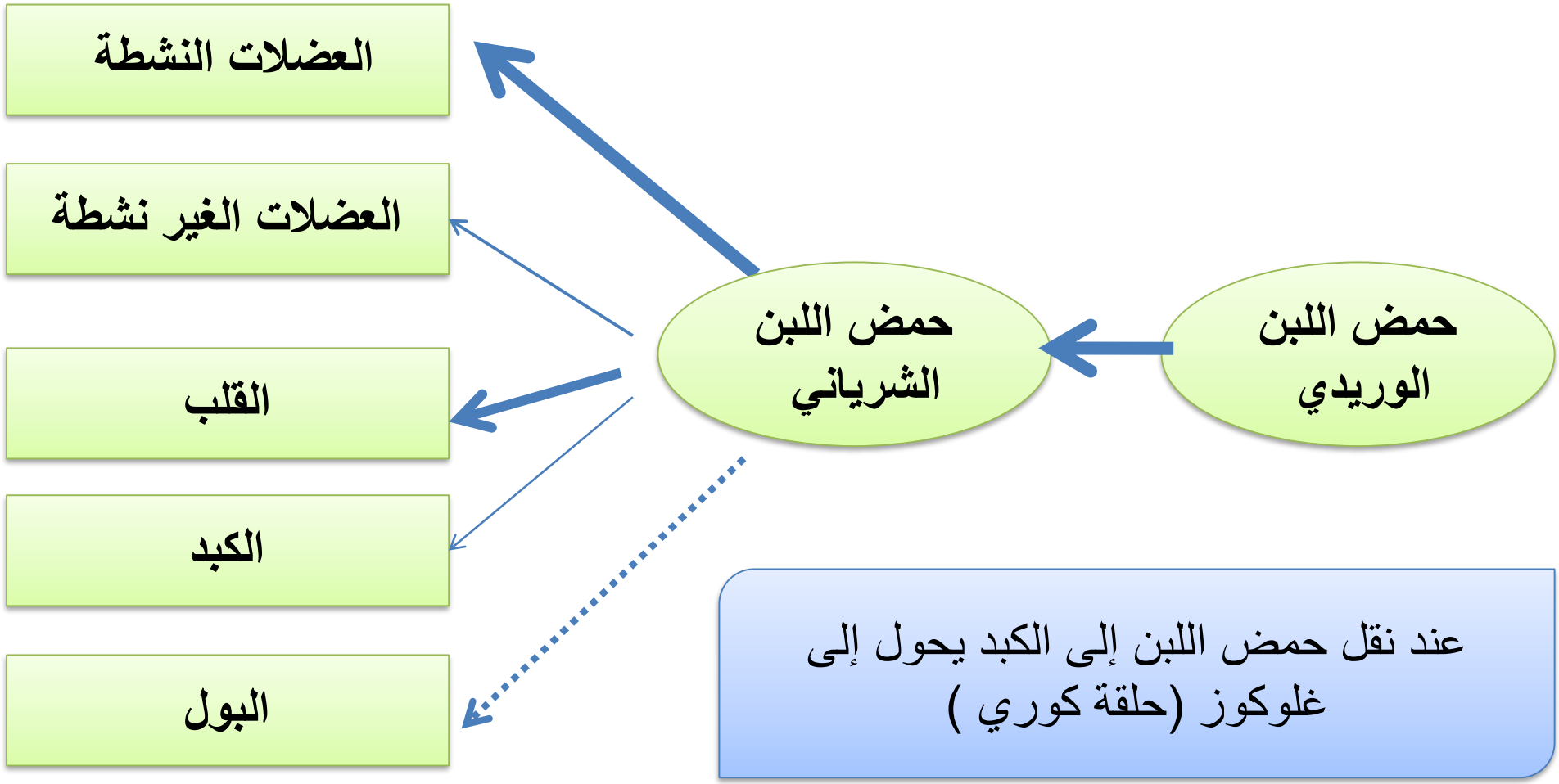
العتبة اللبنية تمثل الانتقال من الأجهزة الأيضية الهوائية إلى اللاهوائية ، و هو مستوى نشاط بيوكيميائي أين يكون إنتاج حمض اللبن من طرف الخلايا العضلية أكبر من قدرة الجسم على التخلص منه. مصطلح آخر العتبة اللبنية تمثل الوقت الذي يتراكم فيه حمض اللبن في الجسم و لا يتم التخلص منه بسرعة. يعبر عنه عند نسبة من %VO2max. أي بمعنى الانتقال نحو الجهاز اللاهوائي اللبني أو الجهاز الجليكوليكي.

على سبيل المثال شخص أ يبدأ بإنتاج حمض اللبن عند 80% من VO2max بينما الشخص ب يبدأ بإنتاج حمض اللبن عند 65% من VO2max .

إنتاج حمض اللبن: عن طريق الألياف العضلية من النوع 2 الآلية المستخدمة هي الجليكوليز اللاهوائي

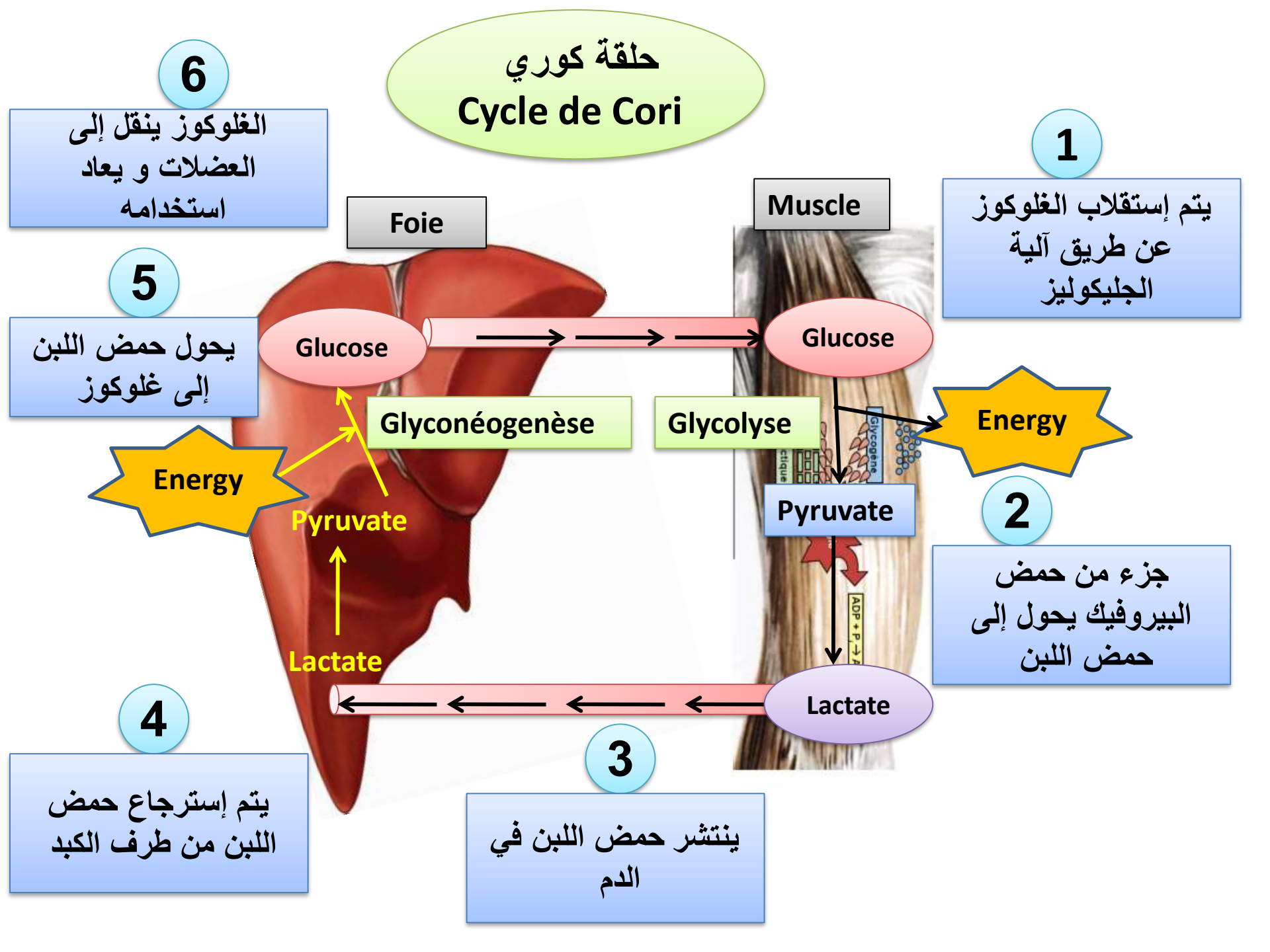
التخلص من حمض اللبن: عن طريق الألياف المؤكسدة المجاورة لديها قابلية كبيرة من أجل إستهلاك حمض اللبن (الالياف من النوع 1) كذلك يؤكسد في الكبد (cycle de Cori) أو في القلب .

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

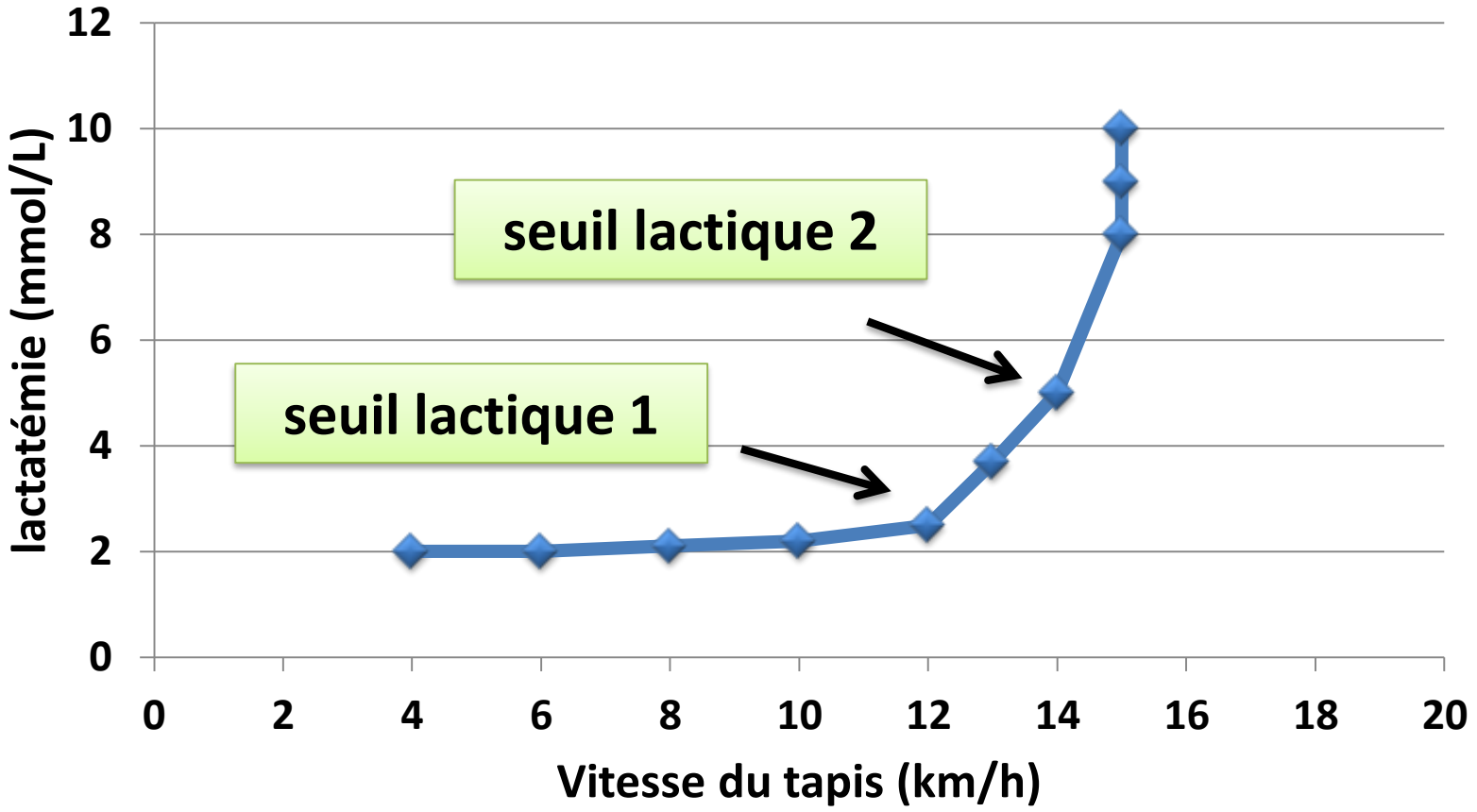


عند نقل حمض اللبن إلى الكبد يحول إلى غلوكوز (حلقة كوري)

حلقة كوري
Cycle de Cori

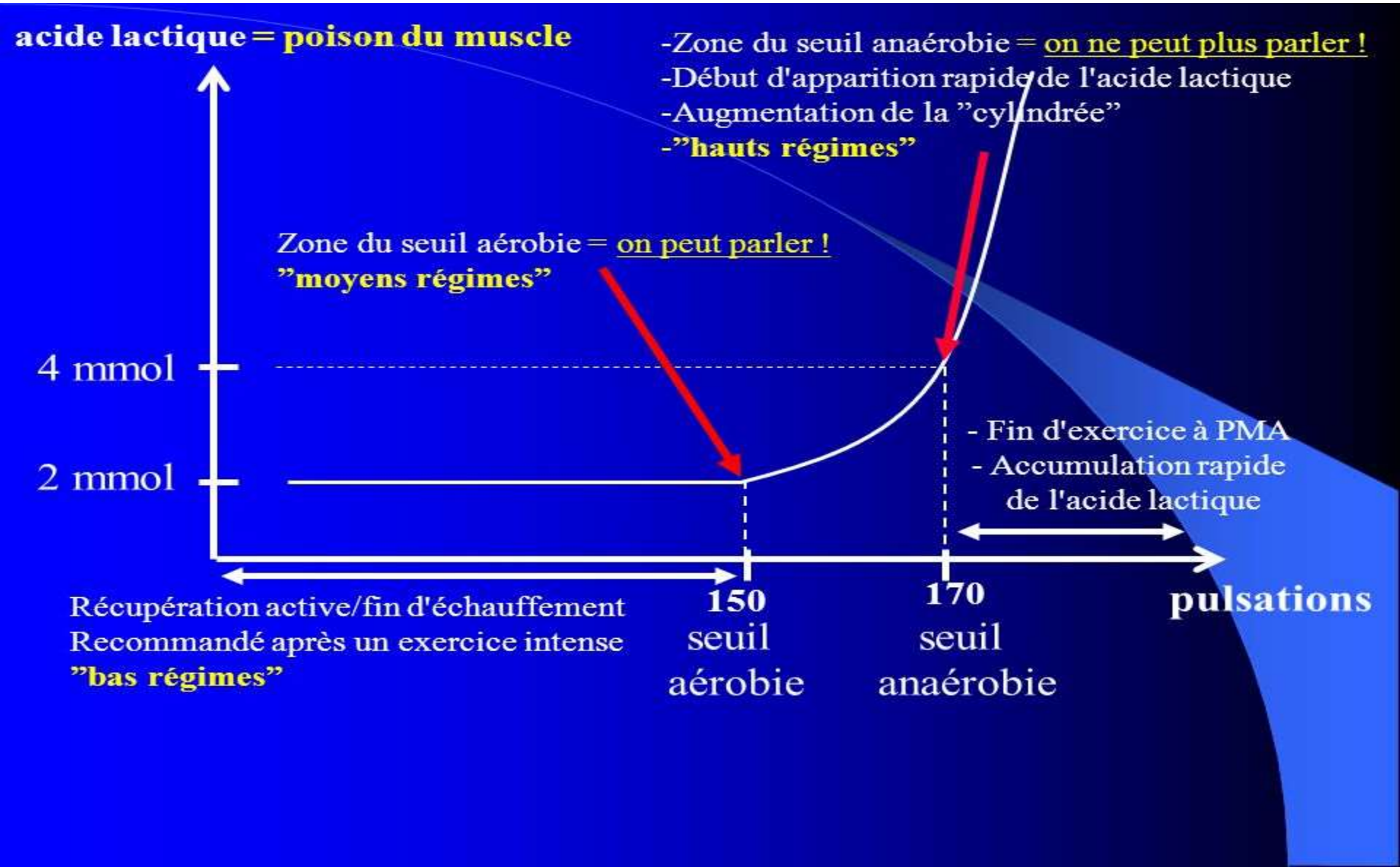


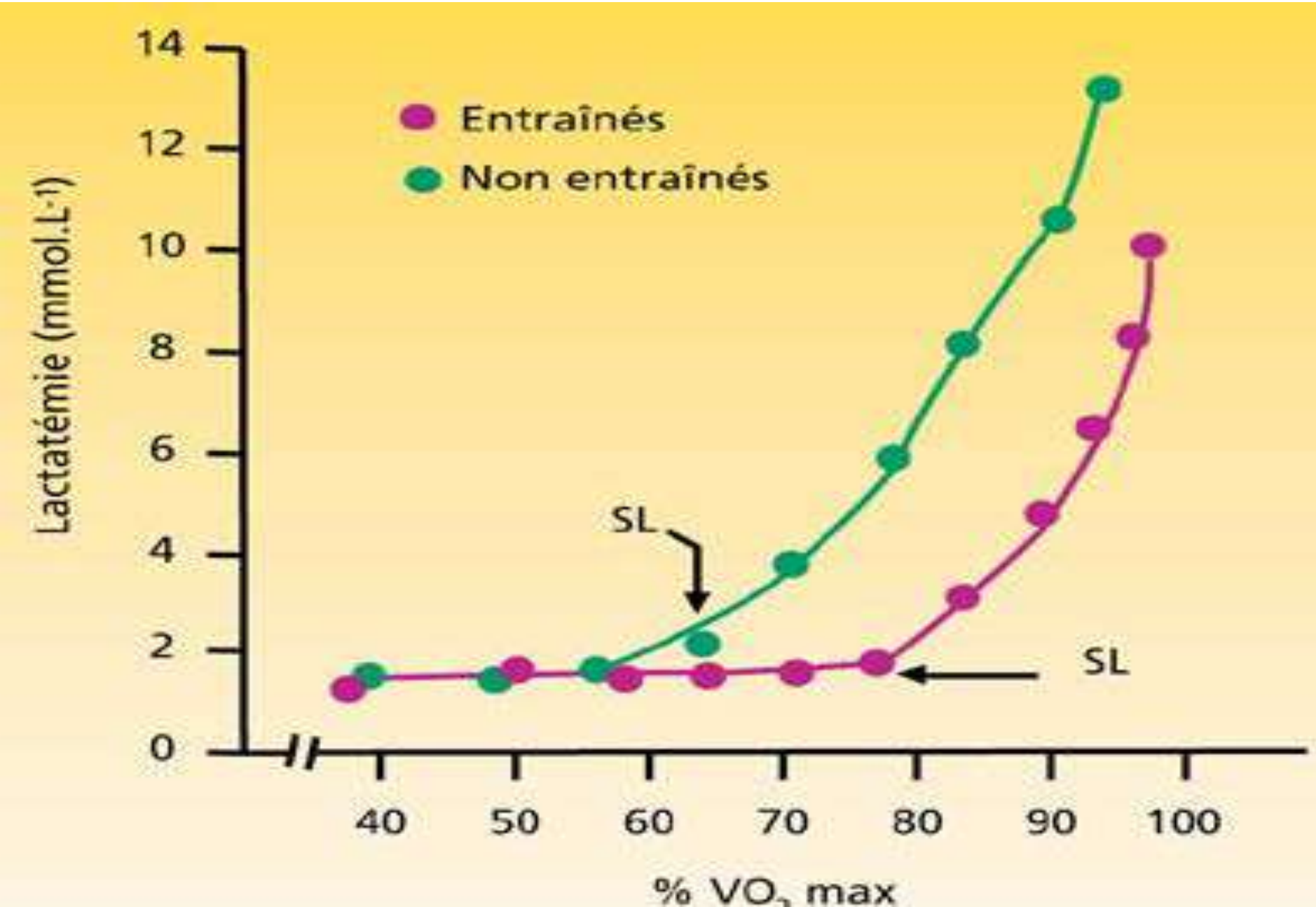
Relation entre l'intensité d'exercice (vitesse de course et la concentration de lactate sanguin)



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

العتبة اللبنية 1 و 2 (Seuil Lactique 1 et 2)




Entraînés
Non entraînés
SL
SL
Lactatémie (mmol.L-1)
0
2
4
6
8
10
12
14
40
50
60
70
80
90
100
% VO2 max

6-3 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 & 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) .

1-6-3 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.

2-6-3 العتبة الهوائية 2 (SV2) seuil ventilatoire

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+.