

المحور الثاني : نظم إنتاج الطاقة والصرف الطاقي .

- أنظمة إنتاج الطاقة خلال النشاط البدني :

إن أساس الحركة أو العمل العضلي هو وجود الطاقة اللازمة لذلك ،فبدون إنتاج طاقة لن يكون هناك انقباض عضلي وبتالي عدم القدرة على أداء نشاط بدني ،إذ هناك ثلاث مواد كيميائية في الجسم تعتبر المورد الرئيسي للطاقة وهي ثلاثي أدينوزين الفوسفات ATP والفوسفو كرياتين PC والجلايكوجين والدهون وبناء على هذه العناصر الأربعة توجد ثلاث أنظمة إنتاج الطاقة وهي :

1 - النظام الفوسفاتي اللاهوائي ATP-CP .

2 - نظام حامض اللاكتيك اللاهوائي Lactique

3 - النظام الأوكسجيني الهوائي O_2

ويكون الاختلاف بين أنظمة إنتاج الطاقة الثلاثة السابقة في سرعة تجديد وإنتاج الطاقة من خلال إعادة بناء ثلاثي أدينوزين الفوسفات ATP والذي يؤدي انشطاره إلى توليد طاقة الية تعمل على انقباض العضلة ويصاحب ذلك تولد طاقة حرارية ،في المقابل كمية ATP المخزنة في العضلة تكون قليلة جدا في حدود 15 ثانية لذلك يتم إعادة بنائه سواء بالنظام اللاهوائي (سريعا) أو بالنظام الهوائي (بطيئا) ،ويحدد ذلك حسب النشاط البدني الممارس .

فالطاقة اللازمة لرياضي المسافات القصيرة للعدو بأقصى سرعة ممكنة تختلف عن الطاقة اللازمة لرياضي المسافات الطويلة والمتوسطة ،إذ أن الفهم والتحكم الجيد في مصادر الطاقة وطرق استرجاعها يساعدنا على تفادي التدريب الزائد من خلال البرمجة والتخطيط على أسس علمية ومنهجية صحيحة .

يخزن الجسم الطاقة في عدة أشكال مختلفة :

- أدنوزين ثلاثي الفوسفات

- فوسفات الكرياتين

- جلاليكوجين العضلات

- الدهون المخزنة في النسيج الدهني

إذ تستخدم الطاقة في عملية الانقباض العضلات وحركتها من خلال التفاعلات البيوكيميائية على مستوى خلية العضلة وتصنف إلى ثلاث أنظمة رئيسية وهي :

1- نظام الطاقة اللاهوائي اللاحامضي ATP-CP

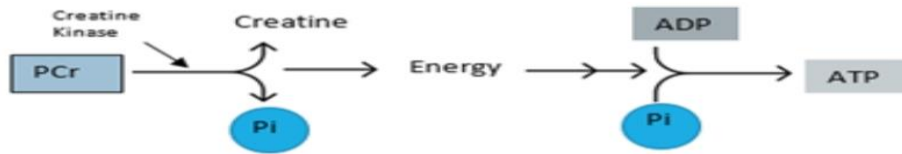
يعتبر نظام الطاقة أدينوزين ثلاثي الفوسفات مصدر الطاقة فوري لنشاط العضلة خلال الحركات السريعة لكن مخزونه قليل جدا فهو كاف لعدة ثواني فقط ، أما المصدر الآخر الغني بالطاقة هو فوسفات الكرياتين CP والذي يعطي طاقة أثناء انشطار الكرياتين عن الفوسفات ثم يعمل على إعادة تشكيل ATP بسرعة .

من خلال المعادلات التالية :

يتم الحصول على الطاقة من ATP عندما تتكسر رابطة كيميائية واحدة بين مجموعات الفوسفات الثلاثة في مركب ATP إذ يتحول إلى ADP (ثنائي الفوسفات) + طاقة كما توضحه المعادلة التالية .



يتم الحصول على الطاقة من PC عندما ينشطر P عن C كما يوضحه الجزء الأول للمعادلة ثم يرتبط أحادي الفوسفات Pi مع ثنائي الفوسفات ADP لإعادة تشكيل ATP من جديد كما يوضحه الجزء الثاني للمعادلة التالية .



- أهم مميزات نظام الطاقة ATP-CP

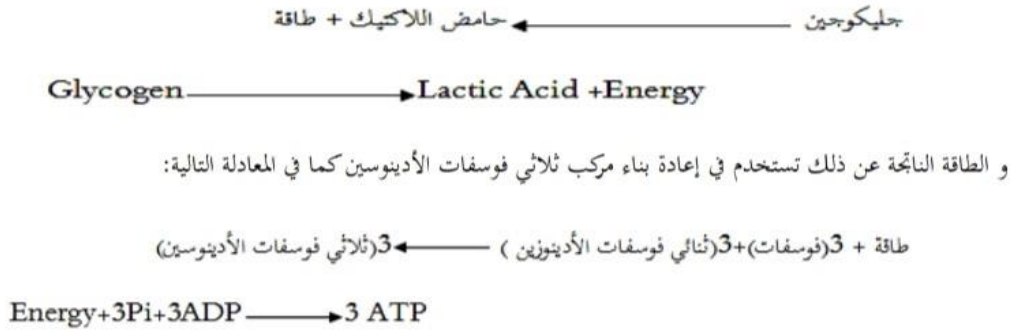
- يخزن مباشرة في العضلات .
- تتم عملية إنتاج الطاقة فيه بدون أكسجين .
- قيمة هذا النظام في سرعة إنتاج الطاقة لا في وفرتها .

- لا يتطلب سلسلة معقدة من التفاعلات الكيميائية .
- مصدر هذا النظام كيميائي .
- يستغرق هذا النظام 15 ثانية (من 3" إلى 7" قدرة) و (من 7" إلى 15" سعة)

- 2 - نظام حامض اللاكتيك lactic acid system

أثناء الانقباضات العضلية المستمرة وفي غياب الأكسجين يتم إعادة بناء ATP من خلال الانشطار الكيميائي للجلايكوجين عن طريق عدة تفاعلات كيميائية مما يؤدي إلى تكوين حامض اللاكتيك في العضلة والذي يعتبر الصورة النهائية لانشطار الجلايكوجين في غياب الأكسجين ونتيجة لذلك يتراكم في خلايا العضلة .

من خلال المعادلة التالية :



- أهم مميزات نظام حامض اللاكتيك

- سريع في إنتاج الطاقة .
- لا يحتاج إلى عمليات معقدة لإنتاج الطاقة .
- مصدر هذا النظام غذائي (كربوهيدرات) .
- ينتج عنه تعب في العضلات .
- يستغرق هذا النظام 2 إلى 3 دقائق (من 15" إلى 45" قدرة) و (من 45" إلى 2' / 3' سعة)

3 - نظام الطاقة الأكسجيني O₂

هو النظام الذي يتم العمل به لإنتاج الطاقة بوجود الأكسجين وهو أكبر المصادر لإنتاج الطاقة من خلال الكثير من التفاعلات الكيميائية والأنظمة الإنزيمية ويعتبر هذا النظام أكثر تعقيدا من

نظام ATP-CP و Lactic acid ، إذ تحدث التفاعلات في النظام الأكسجيني داخل الخلية العضلية في حيز محدود يسمى الميتوكوندريا أو بيوت الطاقة وهي مركز التنفس الخلوي .

من خلال المعادلة التالية :



- أهم مميزات النظام الأكسجيني

- يعتمد هذا النظام على الأكسجين في إنتاج الطاقة .
- الطاقة الناتجة عن هذا النظام كبيرة جدا .
- يعتمد هذا النظام على الكربوهيدرات والدهون في إنتاج الطاقة .
- يحتاج تحرير الطاقة في هذا النظام إلى مدة زمنية طويلة مقارنة بالأنظمة السابقة .
- يستغرق هذا النظام عدة ساعات (من 3 إلى 8' قدرة) و (من 8' إلى ساعة)

- زمن استرجاع مصادر الطاقة بعد جهد بدني حسب طبيعة الاسترجاع :

Tableau : Synthèse des formes de récupération physiologiques

Reconstitution des réserves	Récupération complète		Récupération incomplète (*)	
	Nature	Durées	Nature	Durées
Oxygène	Passive	10 à 15 s	Passive	10 à 15 s
ATP-PCr	Passive	6 à 8 minutes	Passive	1.30 à 2 minutes
Glycogène	Passive	12 à 48 heures	Passive + augmentation de l'apport en glucide	24 heures
Métabolisme du lactate	Passive	1h30	Passive	30 à 45 minutes
	Active	20 minutes	Active	6 à 8 minutes
(*) : Compatible avec la reprise d'activités physiques d'intensité élevée				

- جدول يوضح خصائص نظم إنتاج الطاقة :

O ₂	Lactic acid	ATP-CP	مصدر الطاقة	
غذائي (كربوهيدرات، الدهون) بطيء	غذائي (الجلايكوجين) سريع	كيميائي (فوسفات الكرياتين) سريع جدا	سرعة إنتاج الطاقة	
بلا حدود	محدود	محدود جدا	إعادة بناء ATP	
لا يظهر التعب لأكسدة حامض اللاكتيك	يظهر التعب نتيجة تراكم حمض اللاكتيك	لا يحدث	التعب العضلي	
من 3' إلى 8'	من 15" إلى 45"	من 3" إلى 7"	المدة الزمنية التي يستغرقها	القدرة
من 8' إلى عدة ساعات	من 45" إلى 3' / 2'	من 7" إلى 15"	السعة	
داخل الميتوكوندري	السيتوبلازم (خارج الميتوكوندري)	السيتوبلازم	مكان التصنيع في الخلية	
H ₂ O / CO ₂	lactate	ADP / AMP / créatine	النواتج النهائية	
مخازن VO ₂ Max الجلايكوجين، التعديل الحراري (التعرق)	نقص O ₂ وإنزيم LDH (نازعة هيدروجين اللاكتات)	نفاد الاحتياطات / نقص O ₂	العوامل المحددة	
من 24 إلى 32 ساعة	ساعة ونصف	إعادة بناء ATP ; CP من 6 إلى 8 دقائق	زمن الاسترجاع بعد جهد أقصى	

- الصرف الطاقي :

40% من الطاقة المحررة من العمليات الأيضية للجلوكوز أو الدهون تستخدم لإنتاج الـ ATP و 60% المتبقية تحرر على شكل حرارة ،ويمكن تحديد كمية الطاقة المنتجة من خلال قياس إنتاج الحرارة من طرف الجسم ،هذه التقنية تسمى القياس المباشرة للحرارة (كلوري) الوحدة القاعدية لقياس الحرارة

- وحدة القياس = كيلوكالوري (kca) أو كيلوجول (KJ)

- 1Kcal = الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1 كيلو غرام من الماء درجة مئوية واحدة

- 1kcal = 4.185 KJ

- الصرف الطاقوي في حالة الراحة والعمليات الأيضية القاعدية :

سرعة الجسم في استخدام الطاقة ترجع إلى المستوى الأيضي (مرتفع أو منخفض) ،حيث في حالة الراحة يستهلك الشخص حوالي 0.3 لتر من الأكسجين في الدقيقة الواحدة أي ما يعادل 18 لتر في الساعة أو 432 لتر في اليوم ،إذ أن 1 كيلوكالوري = 4.148 كيلوجول .

إذ يتم حساب الصرف الحريري للشخص بالطريقة التالية :

$Kcal/J = \text{إستهلاك الأكسجين في اليوم} \times \text{كيلوكالوري لكل 1 لتر من الأكسجين}$

1 لتر من الأكسجين = صرف طاقوي قدره 4.80 كيلوكالوري

$Kcal/J = 432 \text{ LO}_2/J \times 4.80 \text{ Kcal/L}^{-1} \text{ O}_2 = 2073.6 \text{ Kcal/J}$

العمليات الأيضية للراحة تستهلك حوالي 60 إلى 70 % من الصرف الطاقوي الكلي وهي الطاقة الكلية للحفاظ على الجسم ،التوليد الحراري الغذائي يمثل 10 % من الصرف الطاقوي الكلي وهو يمثل تكلفة تخزين المواد الغذائية ،و 20 % المتبقية تمثل الصرف الطاقوي المرتبط بالنشاط البدني الرياضي لدى الشخص العادي

- العوامل الأساسية التي تؤثر على مستويات الصرف الطاقوي للإنسان :

بالإضافة للعمليات الأيضية القاعدية والتوليد الحراري الغذائي والنشاط البدني هناك عوامل داخلية وخارجية تؤثر على مستويات الصرف الطاقوي للإنسان .

- العوامل الداخلية :

- العمر والجنس
- الكتلة الدهنية
- الكتلة العضلية

• الهرمونات والغدة الدرقية

- **العوامل الخارجية :**

- حالة الجو
- النمط والنوع الغذاء
- التوتر
- مدة وشدة التمرينات البدنية

- **تقدير معدل الأيض في الراحة :**

يمكن تقدير معدل الأيض في الراحة بنسبة مقبولة من خلال استخدام المعادلات التنبؤية التي تعتمد غالبا على الوزن والطول والعمر على سبيل المثال معادلة (هاريس وبنيديكت 1996)

للرجال : $66.47 + (13.75 \times \text{وزن الجسم بالكغ}) + (5.003 \times \text{الطول بالسـم}) - 6.755 \times (\text{العمر بالسنوات})$

للنساء : $655.096 + (9.563 \times \text{الوزن}) + (1.85 \times \text{الطول}) - 4.676 \times (\text{العمر})$

- **الصرف الطاقي خلال النشاط البدني الرياضي :**

يرتبط الصرف الطاقي خلال الأنشطة البدنية والرياضية بنوع التدريبات المنجزة من حيث الشدة والحجم، إذ يحدد الصرف الطاقي من خلال متوسط استهلاك الأكسجين خلال النشاط وتترجم كمية الطاقة المصروفة بالكيلوكلوري على الدقيقة Kcal/min

إن الشخص العادي الذي يتمتع ببنية جسمية متوسطة يحتاج من 0.16 إلى 0.35 لتر من الأكسجين في الدقيقة من أجل تلبية الاحتياجات الطاقوية في الراحة، هذا ما يعادل حوالي 0.8 إلى 1.70 كيلوكلوري في الدقيقة أي حوالي 48 إلى 102 كيلو كلوري في الساعة أو 1152 إلى 2448 كيلو كلوري في اليوم، كل نشاط بدني يتطلب استهلاك طاقة إضافية وهذا راجع لمجموعة من العوامل من بينها :

- مستوى النشاط (يعتبر العامل الأكثر أهمية)

- العمر ، الجنس ،الوزن ،الطول

- الكتلة الجسمية

- شدة وحجم الجهد البدني

ويتم قياس الطاقة المصروفة أثناء النشاط البدني من خلال معرفة استهلاك الأوكسجين أثناء ذلك النشاط ثم طرح منه استهلاك الأوكسجين أثناء الراحة ثم نضرب الناتج في قيمة الكيلو كالوري لكل لتر من الأوكسجين والمقدرة بـ $4.80 \text{ Kcal/L}^{-1} \text{ O}_2$

كما هو معروف أنه كلما زادة شدة النشاط البدني الممارس زادت معها طرديا نسبة أو حاجة الجسم لاستهلاك الأوكسجين أكثر ومنه زيادة الطاقة المصروفة من خلال زيادة أكسدة الجليكوجين والدهون من طرف الأوكسجين من أجل تشكيل الـ ATP للاستمرار في أداء النشاط البدني بكفاءة وفعالية .