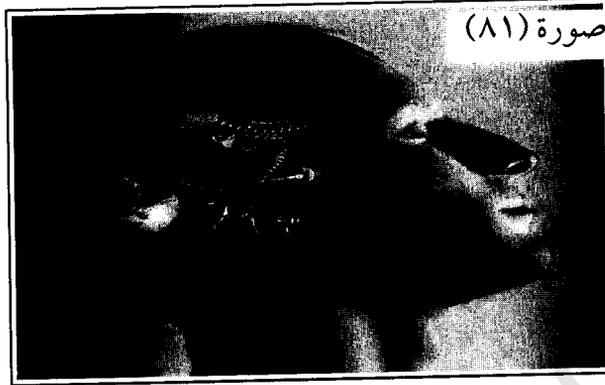


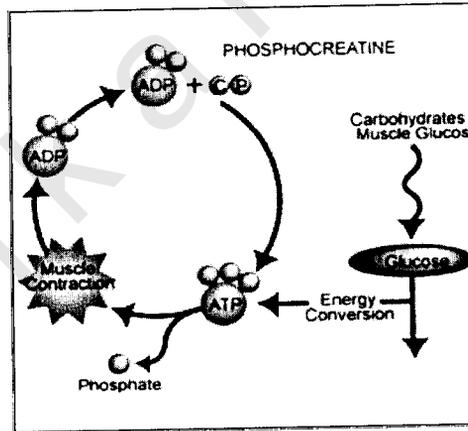
الفصل التاسع

أنظمة الطاقة

Obaikandi.com



تعتمد أسس الأيض بالنسبة للتمرينات الرياضية والتدريبات بشكل أساسي على فهم طبيعة الإنتاج واستخدام هذه الطاقة في الأنظمة الحيوية «البيولوجية»، فيمكننا من خلال التعرف على كيفية إنتاج هذه الطاقة أن نقوم بتصميم برامج تدريب فعالة ومنتجة، ويمكننا أيضًا أن نتعرف على كيفية إنتاج هذه الطاقة بالنسبة لأنواع محددة من التمارين وتعديلها باستخدام البرامج الخاصة بالتدريبات.



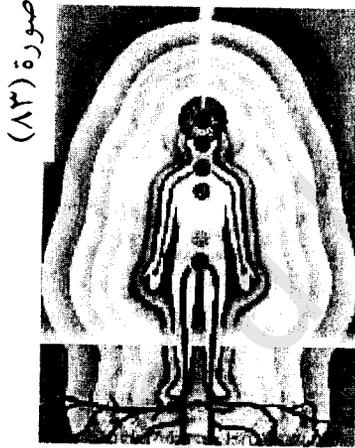
صورة (٨٢)

تعريف الطاقة:

يمكن أن يتم تعريفها كالاتي : هي القدرة على أداء العمل، وهناك أنواع متعددة من الطاقة؛ فهناك الطاقة الميكانيكية والطاقة الكيميائية والطاقة الكهرومغناطيسية والطاقة الذرية... إلخ، ويمكن أن يتم تحويل أحد أنواع الطاقة إلى أخرى وهو عمل ضروري في كل نشاط يقوم به الفرد، ففي النظام الحيوي يكون التحويل من الطاقة الكيميائية إلى الطاقة الميكانيكية التي هي أحد العناصر الهامة لأداء العديد من الوظائف، أهمها الحركة.

وتعتمد عملية إنتاج وسريان الطاقة في النظام الحيوي أساسًا على تحويل الطعام بما يحتويه من جزء كبير من الكربوهيدرات والبروتين والدهون والذي يحتوي بدوره على طاقة كيميائية إلى أنواع يمكن استخدامها من الطاقة.

فالطاقة الناتجة عن تكسير هذه العناصر الكيميائية تطلق كم من الطاقة يكون ضروريًا لأداء العمل مثل تحريك العضلات وانقباضها.



ويطلق على مصطلح الطاقة الناتجة من تكسير الجزيئات الكيميائية إلى ذرات صغيرة «الأيض الهدمي»، أما عملية تجميع الذرات الصغيرة وتحويلها إلى جزيئات باستخدام الطاقة الناتجة عن التفاعلات الهدمية فيطلق عليها مصطلح «الأيض البنائي» وأحد الأمثلة على الأيض الهدمي هي تكسير البروتينات وتحويلها إلى أحماض أمينية، بينما تحويل الأحماض الأمينية إلى بروتينات فهي مثال لعملية الأيض البنائي. ويتوقف إنتاج الطاقة على التفاعلات التي عادة ما تكون ناتجة عن عملية الأيض الهدمي.

وهناك بعض التفاعلات التي تتطلب طاقة وتدخل في عمليات الأيض البنائي. أما عملية الأيض «عملية البناء والهدم» فهي مجموع ما يحدث في كل هذه التفاعلات في النظام البيولوجي سواء كانت خارجية أو داخلية أم منتجة لطاقة أو مستهلكة لها. والمفهوم الأساسي لعملية الأيض البنائي المستهلك للطاقة يتم من خلال الجزئ الوسطي لمسمى أدينوسين ثلاثي الفوسفات «ATP» مما ينتج عنه نقل الطاقة من تفاعلات «كيميائية» إلى تفاعلات «حركية، ميكانيكية».



المصدر الأساسي للطاقة الأدينوسين ثلاثي الفوسفات - ATP

يتكون هذا المركب من الأدينين والعنصر الأساسي به هو غاز النيتروجين، كما يحتوي على عنصر الرايبوز خماسي «سكر» والكربون وثلاث مجموعات من الفوسفات، وينتج عن التحلل المائي لأحد مجموعات الفوسفات مركب أدينوسين ثنائي الفوسفات «ADP»، أما التحلل المائي للمركب ثنائي الفوسفات فينتج عنه مركب أدينوسين أحادي الفوسفات «AMP»

يقوم مركب «ATP» «الأدينوسين ثلاثي الفوسفات» بتوفير طاقة للمجهود العضلي والتي ينشأ عنها الحركة العضلية للفرد. لذا فقد تم تصنيف هذا المركب كجزئ عالي الطاقة وذلك لأنه يقوم بتخزين كمية كبيرة من الطاقة في الروابط الكيميائية الموجودة بمجموعات جزئ الفوسفات. وينتج عن تكسير هذه الروابط كمية من الطاقة تستخدم للقيام بتفاعلات متعددة بداخل الجسم، ونظراً لتخزين خلايا العضلات لمركب «ATP» لكمية محدودة، ونظراً لأن المجهود العضلي يتطلب تزويد سريع من هذا المركب لتوفير الطاقة اللازمة للجهد العضلي، لذلك يجب أن تكون عمليات إنتاج مركب «ATP» موجودة بداخل الخلية.

* مخطط عام لعملية الأيض

البنية الكيميائية لمركبات «ATP» و«ADP» و«AMP».

* أنظمة الطاقة الكيميائية

تحتوي الخلايا العضلية لجسم الإنسان على ثلاثة أنظمة من الطاقة اللازمة لإنتاج مركب «ATP» وهي:

- نظام رابطة الفوسفات: «هي عملية أيض بنائي، على سبيل المثال، ظهور أحد هذه الروابط عند غياب أحد جزيئات الأكسجين»
- النظام الجلوكوزي «السكر»: والذي يحتوي على نوعين من سكر الجلوكوز، وهما: سكر سريع الذوبان، وسكر بطيء الذوبان.
- النظام الأكسجيني: وهو يعتمد على الأكسجين بشكل أساسي وهو يتطلب جزيئات أكسجين لكي يصبح فعالاً.

ومن خلال العناصر الثلاثة للغذاء «الكربوهيدرات والدهون والبروتين» يمكن الاعتماد على الكربوهيدرات فقط كأحد عناصر الأيض التي تنتج طاقة بدون وجود عنصر الأكسجين؛ لذا فأهمية الكربوهيدرات في عملية الأيض البنائي لا يمكن أن تكون ذات قدر بخس. فكل عناصر أنظمة الطاقة فعالة في وقت من الأوقات لذا يعتمد استخدام كل نظام بشكل أساسي على مدى حدة النشاط وكثافته ثم على زمن هذا النشاط.

نظام رابطة الفوسفات:

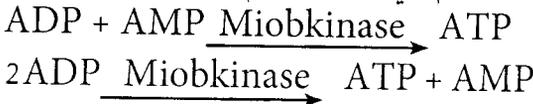
يوفر هذا النظام مركب «ATP» اللازم بالنسبة للأنشطة قصيرة المدة «على سبيل المثال، تمرينات الوزن والعدو» ويكون فعالاً أيضاً في بداية كافة التمارين بغض النظر عن حدتها أو كثافتها. ويعتمد هذا النظام على التفاعلات الكيميائية لمركب «ATP» وكرياتين الفوسفات «الفوسفات الثنائي» بجانب أنزيمات بلازما العضلات وكرياتين كيناس. وتساعد أنزيمات بلازما العضلات على تحليل مركب «ATP» مائياً لتكوين مركب «ADP» وفوسفات عضوي «PI» وطاقة. أما إنزيم كرياتين كيناس فيساعد على تجميع مركب «ATP» من كرياتين الفوسفات و«ADP» والذي يوفر جزئاً ثالثاً لمجموعة الفوسفات الثنائية التي تتفاعل مع مركب «ADP» لتكوين مركب «ATP».

المعادلة:



وتوفر هذه التفاعلات طاقة من المعدل المرتفع. ونظراً لتخزين مركبي «ATP» وكرياتين الفوسفات بمقدار ضئيل في العضلات، فلا يوفر نظام رابطة الفوسفات الطاقة اللازمة للأنشطة المستمرة لمدة طويلة.

ويحتوي النوع الثاني «الانقباض السريع للعضلات» لألياف العضلات على تركيزات أعلى من مركبات الفوسفات أكثر من النوع الأول لألياف «الانقباض البطيء للعضلات» أحد التفاعلات الهامة الأخرى في هذا النظام هي تفاعل أنزيم ميوبكيناس:



ويوفر هذا التفاعل مصدر متوسط من «ATP»، وهو هامٌ أيضاً؛ لأن مركب «AMP» مطلوب لسكر الجلوكوز.



النكح بنظام رابطة الفوسفات

ينظم نشاط كرياتين كيناس عملية كسر مركب كرياتين فوسفات. ويولد زيادة تركيز الأنزيم البروتيني في البلازما الخاص بمركب «ATP» نشاط كرياتين كيناس أما تركيز مركب «ADP» فيحول دون ذلك في بداية التمرين، ويتم تحليل مركب «ATP» مائياً إلى مركب «ADP» مما ينتج عنه طاقة للمجهود العضلي، وتؤدي هذه الزيادة في تركيز مركب «ADP» إلى تنشيط كرياتين كيناس ليساعد على تكوين مركب «ATP» من كسر كرياتين فوسفات. ويبقى نشاط كرياتين كيناس محسن في حالة استمرار التمرين بكثافة مرتفعة. أما إذا انقطع التمرين أو استمر بكثافة ضئيلة كافية للسماح لنظام الجلوكوز أو النظام الأكسجيني بتوفير نسبة ملائمة من مركب «ATP» اللازم لاحتياجات الخلايا العضلية، فإن نسبة تركيز الأنزيم البروتيني تزداد في البلازما الخاص بمركب «ATP» وينتج عن هذه الزيادة في مركب «ATP» نقصاً في نشاط كرياتين كيناس.

نحل «السكر»

وينتج هذا السكر من تحلل الكربوهيدرات ويتم استخدام الجليكوجين المخزن في العضلات أو السكر الموجود في الدم لإنتاج مركب حمض البيروفيك.

وتحتوي عملية التحويل السكري على تسعة تفاعلات أنزيمية مساعدة، توجد هذه الأنزيمات في برتوبلازما الخلايا «في خلايا العضلات التي يشار إليها بالأنزيم البروتيني في البلازما»، ويقوم هذا النظام بتوريد مصدر الطاقة من نظام رابطة الفوسفات للنشاط العضلي مرتفع الكثافة.

وتسلك عملية تحلل السكر أحد الطريقتين: إما التحلل السكري السريع أو البطيء.

ففي أثناء التحليل السريع للسكر يتم تحويل مركب بيروفيك إلى حمض اللاكتيك، مما ينتج عنه طاقة «ATP» في المعدلات السريعة مقارنة بالتحلل البطيء والذي يتم فيه نقل البيروفيك إلى الانقسام الخلوي في النظام الأكسجيني «يتم تسمية التحلل البطيء والسريع للسكر بأسم التحلل السكري المعتمد على الأكسجين»

تحلل السكر ← glycolysis ← جلوكوز بيروفيك

ونظراً لعدم اعتماد الجلوكوز على الأكسجين؛ فإن هذه المصطلحات تعتبر غير مناسبة لهذه العملية، ويتم التحكم بمصير المنتجات النهائية عن طريق متطلبات الطاقة بداخل



الخلية. وعلى سبيل المثال ففي حالة الحاجة إلى مصدر طاقة أثناء تمارين المقاومة يتم استخدام التحلل السريع. أما إذا لم تكن هذه المتطلبات مرتفعة في حالة وجود أكسجين بكمية كافية في الخلية، يتم تنشيط التحلل البطيء.

التحلل السريع

يظهر هذا النوع من التحلل أثناء فترات نقص الأكسجين المتاح في خلايا العضلات، وينتج عنه التحويل إلى حمض اللاكتيك. ويؤدي التركيز المرتفع لحمض اللاكتيك في العضلات إلى ضعف في العضلات أثناء التمرين. ويحدث أيضًا نتيجة لذلك ارتفاع في تركيز الهيدروجين والمعروف بمنعه لتفاعلات سكر الجلوكوز، ويتفاعل مباشرة من ازدواج تحرك التركيز بالنسبة له، وذلك عن طريق منع رابط الكالسيوم للانتحار أو عن طريق التفاعل مع تكوين موصل عبر هذه الروابط، ويؤدي أيضًا لإنقاص في «PH» النشاط الأنزيمي لأنظمة الطاقة في الخلية. والتأثير المتراكم لذلك هو إنقاص في الطاقة المتاحة وحدوث إجهاد أثناء التمرين.

ويتم تحويل حمض اللاكتيك إلى أملاح اللاكتات عن طريق أنظمة التخزين في العضلات والدم، ويختلف تركيز حمض اللاكتيك في العضلات، مؤدية إلى حدوث التقلصات العضلية، وبدلاً من ذلك يتم استهلاك هذه الأملاح كطاقة خاضعة لفعل عمل ما، خاصة في النوع الأول وألياف العضلات القلبية. ويستخدم أيضًا في تكوين السكر «عملية تكوين الجلوكوز من أملاح اللاكتيك والمصادر غير الكربوهيدراتية أثناء التمرين الممتد وعملية الاستشفاء.

وفي العادة يوجد تركيز منخفض من أملاح اللاكتيك في الدم والعضلات، وكما يوضح التقرير العادي لمستوى تركيز أملاك اللاكتيك في الدم هو «... ٥.٠ إلى ٢٠٢ مليمول / لتر» وأيضًا «... ٥.٠ إلى ٢٠٢ مليمول» في العضلات لكل كيلو جرام من رطوبة العضلات. يزيد إنتاج حمض اللاكتيك بالتمرين وعدم الاعتماد على نوع الألياف العضلية، وقرر الباحثون أن أعلى معدل من إنتاج حامض اللاكتيك بالنسبة لألياف العضلات هو «... ٥٠٠ مليمول G^{-1} , S^{-1} » وبالنسبة للنوع الأول تكون العضلة «... ٢٥٠ مليمول G^{-1} , S^{-1} » من تركيز حمض اللاكتيك.

إنتاج حمض اللاكتيك

قد يعكس المعدل العالي لإنتاج حمض اللاكتيك عن طريق النوع الثاني من ألياف



جلوكوز + $2 \text{ADP} + \text{pi}$ أملاح اللاكتيك + 2ATP + ماء

أما التحلل البطيء للسكر «الجلوكوز» في حالة وجود الأوكسجين بكمية كافية في نسيج العضلات «جزء من الأنسجة يتم به تفاعلات الأيض الهوائية»، لا يتم تحويل المنتج النهائي للسكر إلى حمض لاكتيك ولكن يتم نقله إلى العضلات، هناك أيضًا نوعان من الأيض من «NADH» نيكوتين أسيد - أدينين داينو كليوتيد المخفض الناتج من تفاعلات سكر الجلوكوز «تشير كلمة المخفض إلى الهيدروجين المضاف إلى نيكوتين أدينين داينيو كليوتيد أو NAD، عند دخول الهيدروجين في الغضروف، يتم تحويلها إلى خلايا COA الأنزيم المساعد A عن طريق غير المهدرج المركب. يمكن أن تدخل هذه الخلايا في دائرة كيربس «Krebs» لإنتاج مزيد من مركب «ATP» تذهب عمليات أيض NADH في نظام نقل الإلكترونات والتي يمكنها استخدامه لإنتاج «ATP».

التفاعل الناتج من التحلل البطيء كالتالي :

Glucose + 2pi + 2Adp + 2NAD سكر جلوكوز

«ماء» + $2 \text{ATP} + \text{NADH}_2 + \text{H}_2\text{O}$

الطاقة الكامنة في سكر الجلوكوز

يقوم جزيء سكر الجلوكوز بإنتاج 2 جزيء من «ATP» لذا في حالة استخدام الجليكوجين «أحد نماذج تخزين سكر الجلوكوز»، سيكون الناتج النهائي ثلاث جزيئات من «ATP» وذلك نتيجة لتفاعل الجلوكوز مع الفوسفات والذي يتطلب جزيء «ATP».

ويؤدي التحكم في سكر الجلوكوز بالأمونيا والفوسفات و«ADP» إلى تخفيض بسيط في «PH» ويتم تحفيزه بشدة بواسطة «AMP» الذي يؤدي إلى تخفيض نسبة «PH» وزيادة مستويات «ATP» وكرياتين الفوسفات والنترات والأحماض الدهنية الحرة، وتتحكم عملية إضافة فوسفات لسكر الجلوكوز بواسطة الكيناس سداسي في سكر الجلوكوز حيث يتم كسر نسبة الجليكوجين إلى جلوكوز والذي يتم تحفيزه بواسطة إضافة الفوسفات إليه.

أحد الاعتبارات الأخرى الهامة في عملية تنظيم أي سلسلة من التفاعلات هي تحديد النسب، وهي أكثر المراحل أهمية لضمان كفاءة التفاعلات. إن خطوة تحديد النسبة في



ويختلف معدل استهلاك الأوكسجين بين الأفراد خاصة عند أداء تمارين التحمل، حيث إن معدل الاستهلاك الأوكسجين يرتبط بإنتاج أملاح اللاكتيك أو إزالة استهلاك الجليكوجين إلى قدر أكبر من استهلاك الأوكسجين العالي.

وقد عرف أن تمارين الأثقال المرتفعة تزيد من وقت عمل المجهود الشاق بدون زيادة أقصى استهلاك للأوكسجين، ينتج عن ذلك أن بعض أنواع تدريبات الأثقال تقوم بتعديل «LT» و «OBLA» مما ينتج نسبة تحمل أكبر، وأثبت العالم ماركينيك تال أن مقاومة التدريب يمكن أن تغير نسبة «LT» وتزيد من التحكم في مقاييس الجهد.

النظام الأوكسجيني «الهوائي» لإنتاج الطاقة :

يستخدم هذا النظام الكربوهيدرات والدهون كعنصر أساسي. أما البروتين فهو لا يعتبر عامل أيضا فعال فيما عدا أثناء حالة الجوع الشديد أو التدريب العنيف لمدة كبيرة وأثناء فترة الراحة حيث يتم إنتاج ٧٠٪ من «ATP» من الدهون أما نسبة ٣٠٪ من الكربوهيدرات، أما في نهاية النشاط فيتم العكس وذلك نظراً لأن الكربوهيدرات يكون وقود جيد في نهاية التمرين، ففي أثناء التمارين الهوائية، يتم استهلاك ١٠٠٪ من الطاقة من الكربوهيدرات أما في حالة الراحة فيتم التبادل بين الدهون والكربوهيدرات.

ويبدأ الأيض الهوائي بسكر الجلوكوز بالدم والجليكوجين بالعضلات، ففي حالة وجود الأوكسجين بكميات كافية لا يتم تحويل المنتج النهائي من الجلوكوز إلى حمض اللاكتيك ولكن يتم تحويله إلى العضلات في المكان الذي يتم استهلاكه بها والدخول في دائرة كربس أو دائرة حمض الستريك. ودائرة كربس هي سلسلة من التفاعلات التي تستمر فيها أكسدة المادة الخاضعة للخميرة «الجلوكوز»، تبدأ في إنتاج الجلوكوز وإنتاج ذرتين «ATP» من جينين ثلاثي الفوسفات «GTP» لكل عملية أيض للجلوكوز، والذي يتم إنتاجه أيضاً من عملية أيض واحدة للجلوكوز وستة عمليات أيض من «NADH» وتنتج أيضاً أدنين دايوكليوتيد الصبغ الأصفر «فلاين» $FAD H_2$ وتقوم عمليات الأيض هذه بنقل نواة الهيدروجين إلى حزمة نقل الإلكترون لاستخدامه لإنتاج «ATP» من «ADP» كما تستخدم سلسلة نقل الإلكترون «NADH» و « $NADH_2$ » لإنتاج ريبوسفاويلات «ADP» إلى «ATP».

يتم نقل نواة الهيدروجين إلى أسفل السلسلة وتحمل سلسلة حاملات الإلكترون التي عرف باسم كيتوكروس لتشكيل بروتونات لتوفير طاقة لإنتاج «ATP».

قدرة إنتاج الطاقة

تختلف الأنظمة الثلاثة «رابطة الفوسفات والأكسجين والجلوكوز» في القدرة على توريد طاقة للأنشطة في كثافات وأوقات متنوعة، ويتم تعريف مدة التمرين أو مستوى كثافته على أنه مستوى النشاط العضلي الذي يمكن قياسه عن طريق الطاقة المبذولة «الجهد المبذول في وقت محدد»، وأوضحت الدراسات أن القوة عند استهلاك أقصى قدر من الأكسجين تكون حوالي ٢٠٪ إلى ٣٠٪ من الطاقة القصوى في مقياس الجهد «دائرة الجهد».

تدرج النسب وقدرة إنتاج «ATP»

النظام	معدل إنتاج «ATP»	قدرة إنتاج «ATP»
رابطة الفوسفات	1	5
أكسدة الكربوهيدرات	4	2
أكسدة الدهون	5	1
التحلل البطيء للسكر	3	4
التحلل السريع للسكر	2	2

تأثير مدة الحدث على نظام الطاقة الأولى المستخدمة

نظام الطاقة الأولى	شدة الحدث	مدة الحدث
رابطة الفوسفات	شديد جداً	6 ثواني
رابطة الفوسفات والتحلل السريع والبطيء للسكر	شديد	6 - 30 ثانية
التحلل السريع	ثقيل	30 ث دقيقة
التحلل السريع ونظام الأكسدة	متوسط	2-3 دقائق
نظام الأكسدة الأكسجيني	عادي	أكثر من 3 دقائق

هناك بعض التمارين التي يتم دعمها بواسطة الآليات الهوائية حتى في حالة استهلاك نسبة ١٠٠٪ من الأكسجين، ولكن لا يتم تصنيفها كتمارين شديدة جداً. فالأنشطة قبل تمرينات الأثقال التي تتطلب مجهوداً عالٍ جداً لها إخراج شديد للطاقة، وتتطلب

معدل سريع من الطاقة الواردة، وتعتمد الطاقة الواردة من هذه الأنشطة على التحويل العالي على أساس شدة ومدة الحدث؛ لذا فالجهد القصير الشديد يعتمد على نظام رابطة الفوسفات، وتحلل السكر السريع وتناقص الشدة مع زيادة المدة، ويتم التحويل إلى أنظمة الطاقة الأخرى.

تؤثر مدة النشاط أيضًا على نوع نظام الطاقة المستخدمة، وتتراوح أحداث الرياضي في المدة من «١-٣» ثواني «تمارين الخطف ورمي الكرة الحديدية» وإلى أكثر من ٤ ساعات في السباقات الكبيرة المتعددة، ففي حالة بذل أقصى جهد في هذه التمارين، تكون المدة الموضحة معقولة.

أما في أوقات الراحة أو التمرينات العادية فيكون نظام الطاقة المنتجة مرتبط بالشدة والمدة، ففي أثناء التمرين يتم تحديد الدرجة التي تساهم بها أنظمة الأكسدة الهوائية واللاهوائية في الطاقة المنتجة بواسطة شد التمرين أولاً ثم بواسطة مدة التمرين.

عناصر الطاقة:

عناصر الطاقة هي الجزئيات التي توفر مواد أولية لتفاعلات سريان الطاقة في النظام الحيوي بها فيها الفوسفاجينات والأحماض الدهنية الحرة والأحماض الأمينية، والتي يمكن إنتاجها بواسطة أنظمة سريان الطاقة في الأنظمة الحيوية، أثناء الأنشطة العديدة وتكون مرتبطة باستنفاد الفوسفوجينات والجليكوجين. ولا يظهر استنفاد المادة التي تمت معاملتها، مثل: الأحماض الدهنية، وأملاح اللاكتيك، والأحماض الأمينية لدرجة تحدد مستوى الأداء، ويعتبر نموذج استنفاد وإشباع الفوسفوجينات والجليكوجين التي تتبع النشاط البدني هاماً في التمرين وسريان الطاقة في النظام الحيوي الرياضي.

الفوسفوجينات :

يظهر الإرهاق أثناء التمرين جزئياً ويكون مرتبطاً بانخفاض الفوسفوجينات، حيث يتم استنفاد تركيزات الفوسفوجين بالعضلة نتيجة للتمرين اللاهوائي المرتفع الكثافة أكثر من التمرينات الهوائية، وينخفض كرياتين الفوسفات أثناء المرحلة الأولى للتمرين مرتفع الكثافة، ويمكن استنفاده نتيجة للتمرين المرتفع الشدة إلى درجة الإجهاد. ومن ثم فلا يتم إنقاص تركيزات «ATP» في العضلة أكبر من «٦٠٪» من القيم الأولية حتى أثناء التمرين الكثيف، ويجب أن يتم ملاحظة أن الحركات الديناميكية للعضلة التي تنتج العمل الخارجي واستخدام الطاقة الأيضية واستنفاد الفوسفاجينات لدرجة أعلى من

حركات العضلات المتساوية الجزئيات.

ويعتبر مركب «ATP» الموجود بالعضلات احتياطياً لاستخدامه بعد استنفاد كرياتين الفوسفات، ويلعب دوراً كبيراً في إمداد العضلات بجانب مصادر الطاقة الأخرى، مثل الجليكوجين والأحماض الدهنية الحرة، وقد يحدث إشباع الفسفوجين قبل التمرين في مدة قصيرة. ويظهر «ATP» المعاد تجميعه خلال «٣ : ٥» دقائق، ويتم استهلاك الفسفوجينات كنتيجة لعملية الأيض الهوائية، وذلك بالرغم من إمكانية إسهام التحلل السريع للسكر في الاستشفاء بعد أداء التمرينات الشاقة.

ولم تتم دراسة تأثيرات التدريبات على تركيزات الفوسفوجينات، وقد تزيد التمرينات الهوائية من تركيزات الراحة للفوسفوجينات وتنقص معدلات الاستنفاد في مخرجات الطاقة الفرعية، وبالرغم من ملاحظة الباحثين لإشارات تركيزات الفوسفوجينات أثناء الراحة، فلم توضح الدراسات قصيرة المدى بدائل في تركيزات الفوسفوجينات أثناء الراحة، ويمكن أن يكون محتوى الفوسفوجين الإجمالي أكبر من العدد المتتالي نتيجة الزيادات في كتل العضلات، وقد أوضحت الدراسات أن تدريب الوزن يزيد من تركيزات الفوسفوجينات أثناء الراحة في عضلة العضد الثلاثية الرأس بعد خمسة أسابيع في التدريب، وقد ظهرت الزيادة في تركيز الفوسفوجينات نتيجة للتضخم في ألياف النوع الثاني والتي يمكن أن تحتوي على تركيز فسفوجينات أعلى من ألياف النوع الأول.

الجليكوجين:

يعتبر الجليكوجين أحد أهم مصادر الطاقة اللازمة للتمارين البدنية، ويتم تخزين الجليكوجين في إجمالي عضلات الجسم «٣٠٠ إلى ٤٠٠ جم» وحوالي «٧٠ إلى ١٠٠ جم» في الكبد، وقد تتأثر تركيزات الجليكوجين في الكبد والعضلات بسبب التدريب.

ويقترح الباحث أن كلاً من التدريب اللاهوائي - بما فيها تدريبات الأثقال والتدريب الهوائي المثالي - قد تكون السبب في زيادة تركيز جليكوجين العضلة في وقت الراحة.

ويرتبط استنفاد نسبة الجليكوجين بشدة التدريب، ويعتبر جليكوجين العضلة مصدر للطاقة أكبر من الجليكوجين في الكبد أثناء التمرين الشديد، ويكون جليكوجين الكبد مفيداً في التمرين منخفض الشدة ويزيده مساهمته لعمليات الأيض بمدة التدريب. وترتبط نسبة أبيض الجلوكوز في العضلة بالزيادات في شدة التمارين المرتبطة بنسبة استهلاك الأكسجين.



عوامل تحديد سريان الطاقة في النظام الحيوي أثناء أداء التمرينات:

يجب أن يتم وضع العوامل المحددة للأداء في الاعتبار عند وجود أي إرهاق أو تعب أثناء التمرينات أو التدريبات، كذلك يجب أن يتم التعرف على أهم العوامل المحددة للتمرين والمربطة بلاعب معين عند تصميم برنامج تدريب معين، ومحاولة تقليل حجم الإرهاق لتعزيز الأداء بوضع جدول لنماذج العوامل المحددة المتنوعة على أساس استنفاد الطاقة، وزيادة أيونات الهيدروجين في العضلات.

وقد يكون الجليكوجين عاملاً محددًا لكل من التمرينات ذات المدة الطويلة، والتمرينات غير الشاقة المدعمة بالأبيض الهوائي، وبالنسبة للتمرينات المتكررة الشاقة تكون مدعمة بالأبيض اللاهوائي.

ترتيب العوامل المحددة في سريان الطاقة داخل النظام الحيوي

درجة التمرين	ATP أدينوسين ثلاثي الفوسفات	جليكوجين العضلات	جليكوجين الكبد	الدهون المخزنة	PH الأس الهيدروجيني
سباق خفيف	1	5	5 - 4	3 - 2	1
متوسط	2 - 1	3	20	1 - 1	3 - 2
ثقيل	3	3	1	1	5 - 4
كثيف جدًا	3 - 2	1	1	1	1
كثيف جدًا (متكرر)	5 - 4	4 - 4	2 - 1	2 - 1	5 - 4

استهلاك الأكسجين وإسهام اللاهوائي في التدريب:

استهلاك الأكسجين:

وهو قياس قدرة الفرد على أداء الوظيفة في وجود الأكسجين، ففي أثناء التمرينات



ذات الشدة المنخفضة، يتزايد استهلاك الأوكسجين في الدقائق الأولى حتى يتم الوصول لمرحلة الثبات «التي تتطلب استهلاك متساوي من الأوكسجين»، ومن ثم يجب أن يتم توفير نسبة عالية من الطاقة عند بدء التمرين خلال التمرينات اللاهوائية، ويتم إطلاق مصطلح نقص الأوكسجين على إسهام الاستهلاك اللاهوائي، أثناء التدريب يكون معدل استهلاك الأوكسجين أعلى منه بعد التمرين بالنسبة للفترة الزمنية التي تتنوع طبقاً لشدة ومدة التمرين، ويطلق مصطلح تجاوز استهلاك الأوكسجين قبل التمرين على الأوكسجين المستهلك قبل التمرينات، ويستخدم هذا المصطلح والقيم التي يتم تطبيقها طبقاً لها لاستعادة الجسم إلى حالته بعد التمرين، وهناك علاقة مناسبة بين نقص الأوكسجين ومصطلح تجاوز نسبة الأوكسجين، فنقص الأوكسجين قد يؤثر على تجاوز نسبة الأوكسجين ولكنها غير متساوية العوامل التي يمكن أن تؤثر على نسبة تجاوز الأوكسجين.

وتوفر التمرينات اللاهوائية طاقة أكبر للعمل إذا كانت شدة التمرين أكبر من أقصى استهلاك للأوكسجين يمكن أن يتحملة الشخص.

وبما أن استهلاك التمرينات اللاهوائية يدعم زيادة التمرين بالتناقص مع مدة التمرين فهي علاقة عكسية والقيم التقريبية لهذه المعدلات تكون طبقاً لمقياس الجهد.

إن الإسهام بالنسبة للتمرينات اللاهوائية يتراوح بين «٣٠ إلى ٦٠ ثانية» وذلك بعد أن يصبح الأيض الهوائي المورد الأول للطاقة، ولذلك تعتمد أقصى الجهود على الأيض الهوائي، ويمثل إسهام التمرينات اللاهوائية لهذا النوع من التمرين أقصى قدرة للتمرينات اللاهوائية.

وتحدد الحالة الثابتة للأيض في التمرينات ذات الشدة المنخفضة (٧٥٪) من أقصى استهلاك للأوكسجين $VO_{2\max}$ وحجم استهلاك الأوكسجين VO_{2p} .

ومن العوامل المحتملة التي تزيد نسبة تجاوز استهلاك الأوكسجين بعد التمرين:

تركيب ATP ومخزون كرياتين الفوسفات.

تركيب الجلليكوجين من حمض اللاكتيك.

إشباع الأوكسجين في أنسجة الماء.

إشباع الأوكسجين في أوردة الدم.

إشباع الأكسجين بالدم في عضلات الهيكل العظمي.

إشباع الأكسجين للأصباغ البروتينية.

توزيع الأيونات بداخل الجسم.

إصلاح الأنسجة التالفة.

جهد زائد إضافي.

تأثير الهرمونات بالزيادة أو بالنقص.

زيادة درجة حرارة الجسم.

وتؤدي التمرينات عالية الجهد في الحالات غير الثابتة من التمرين إلى زيادة استهلاك الأكسجين المطلوب VO_2 للتمرين في حالة إمكانية استهلاك هذه النسبة، ولكن في عدم وجود هذه الإمكانية، يتناقص الأكسجين بالنسبة لمدة التمرين.

إسهام التمرينات الهوائية واللاهوائية في أقصى مجهود

(مدة المجهود)

	90	60	30	-5
شدة التمرين	31	35	55	100
إسهام التمرينات اللاهوائية	35	50	75	96
إسهام التمرينات الهوائية	65	50	25	4

وتتناقص مخرجات الطاقة طردياً مع إسهام الطاقة من زيادة التمرينات الهوائية في مقياس الجهد ويكون مخرج الطاقة لأقصى استهلاك للأكسجين هو أقل من ٣٥٪ لأعلى مخرجات للطاقة، ومن ثم يتم دعم التمرين من خلال الأيض الهوائي والذي يجب أن يستمر في التمرينات الشاقة المرتبطة بأقصى قدرات مخرجات الطاقة.

ويجب أن يتم ملاحظة أن الأنواع المختلفة من التدريب يمكن أن تعزز قدرة الأيض الهوائي واللاهوائي وقد يزيد هذا التعزيز نسبة التحمل وإجمالي العمل المؤدى أثناء أقصى جهد.

التمرين المقترح : فترات الراحة

نظام التمرين وقت الراحة	نظام التمرين الوقت	النشاط الرياضي	النسبة المئوية
20 : 1 - 12 : 1	10 - 5 ث	نظام الفوسفات	100% - 90
4 : 1 - 3 : 1	30 - 15 ث	التحلل السريع للسكر	75% - 90
4 : 1 - 3 : 1	3 - 1 د	التحلل السريع للسكر والأكسدة	30% - 75
3 : 1 - 1 : 1	3 دقائق	الأكسدة	20% - 35

الخلاصة:

يمكن أن يتم تصميم برامج التدريب ذات إنتاجية عالية في الأداء من خلال التعرف على كيفية إنتاج الطاقة لأنواع متعددة من التدريبات، وكيفية تعديل إنتاج الطاقة باستخدام أنظمة تدريب محددة.

ويحدد اختيار استخدام نطاق الطاقة من خلال شدة التمرين ومدته، كما تحدد نسب الأيض والتمرينات بصفات التمرين من وقت وشدة وفترات راحة. ويتيح لك هذا المفهوم تعزيز الأداء الرياضي من خلال تنفيذ برامج التدريب المعدلة طبقاً لهذه المعايير.