مفهوم الطاقة وانظمتها

تُعد حركة الإنسان من أعقد الظواهر الحيوية التي يقوم بها الجسم، إذ لا تقتصر على انقباض عضلي بسيط، بل هي نتاج **تكامل دقيق بين عدة أجهزة وظيفية** تعمل بصورة منسجمة لتحقيق الأداء الحركي المطلوب. فكل حركة، مهما كانت بسيطة، تبدأ بإشارة عصبية وتنتهي بانقباض عضلي منظم، يحقق هدفاً وظيفياً أو مهارياً.

فعلى المستوى الوظيفي، يقوم **الجهاز العصبي** بإرسال الإيعازات الحركية من المراكز العليا إلى العضلات، حيث تُنقل هذه الإشارات عبر الأعصاب الحركية لتصل إلى الألياف العضلية. وعند وصول الإشارة، يحدث ما يُعرف بالاستثارة العضلية، التي تُترجم إلى **انقباض عضلي** نتيجة تفاعل البروتينات الانقباضية داخل الليف العضلي وفي الوقت نفسه، يعمل **الجهاز الدوري** على نقل الأوكسجين والمواد الغذائية إلى العضلات، في حين يتولى **الجهاز التنفسي** تزويد الجسم بالأوكسجين والتخلص من ثاني أوكسيد الكربون الناتج عن العمليات الحيوية.

أما على مستوى الخلية، فإن كل خلية في الجسم تؤدي وظيفة متخصصة تتناسب مع بنيتها، فالخلية العصبية مسؤولة عن نقل الإشارات، والخلية العضلية مسؤولة عن الانقباض وإنتاج القوة، في حين تتخصص خلايا الدم في نقل الأوكسجين والمواد الغذائية هذا التخصص الخلوي يعكس مبدأ مهماً في فسلجة الإنسان، وهو أن **الوظيفة تعتمد على التركيب**، وأن كل خلية تعمل ضمن منظومة متكاملة لتحقيق الأداء الكلي للجسم.

غير أن هذا العمل المتكامل، سواء على مستوى الأجهزة أو الخلايا، لا يمكن أن يتم دون توفر عامل أساسي، وهو **الطاقة** .فالانقباض العضلي، ونقل الإشارات العصبية، وعمل القلب والرئتين، جميعها عمليات تحتاج إلى طاقة مستمرة. ومن دون هذه الطاقة، يتوقف الجسم عن أداء وظائفه الحيوية.

وهنا يبرز سؤال جوهري في فسلجة الجهد البدني:

من أين يحصل الجسم على هذه الطاقة؟ وكيف يتم توفيرها بشكل مستمر أثناء الراحة وأثناء النشاط البدني؟

إن الطاقة التي يستخدمها الجسم لا تُستمد مباشرة من الغذاء بصورته الأولية، بل يتم تحويلها عبر سلسلة من التفاعلات الكيميائية الحيوية إلى شكل قابل للاستخدام داخل الخلية، يتمثل في مركب الطاقة، الذي يُعد المصدر المباشر للطاقة في جميع العمليات الحيوية.

وبالتالي، فإن فهم حركة الإنسان لا يكتمل دون فهم الكيفية التي يتم بها **إنتاج الطاقة وتوفيرها داخل الجسم**، وهو ما يقودنا إلى دراسة **مصادر الطاقة الغذائية وأنظمة إنتاج الطاقة** التي يعتمد عليها الجسم أثناء الأداء البدني.

- **الطاقة energy:** هي القدرة التي يمتلكها الجسم للقيام بالوظائف الحيوية والحركية، ويتم الحصول عليها من خلال تفكيك المركبات الغذائية وتحويلها إلى طاقة كيميائية مخزنة في مركبات الطاقة داخل الخلية العضلية، الذي يُستخدم مباشرة في الانقباض العضلي وبقية العمليات الحيوية.

إذا اردت ان تفهم كيف تميز الطاقة فهي لا تُرى، ولكن تُلاحظ من خلال تأثيرها مثل الحركة، إنتاج القوة، الحرارة، كذلك الجسم لا يستخدم الغذاء مباشرة، بل يحوله إلى مركبات طاقة تخزن داخل الخلية العضلية وان كل حركة أو أداء رياضي هو نتيجة تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة حركية.

- **قياس الطاقة:** تُقاس الطاقة في جسم الإنسان باستخدام وحدات حرارية مثل الكيلو سعرة والجول، ويتم تقديرها إما بشكل مباشر من خلال الحرارة الناتجة، أو بشكل غير مباشر عبر استهلاك الأوكسجين، وهو الأسلوب الأكثر استخداماً في الفسلجة الرياضية لتحديد كفاءة الأداء والجهد البدني.
  * **السعرة الحرارية:** السعرة الحرارية هي وحدة قياس الطاقة، وتُستخدم لتحديد كمية الطاقة التي يحصل عليها الجسم من الغذاء أو يصرفها أثناء النشاط البدني، كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة ١ غرام من الماء درجة مئوية واحدة (من ١٤,٥ إلى ١٥,٥ درجة مئوية) تحت ضغط جوي قياسي.

* **القيمة الحرارية لمصادر الغذاء:**

- ١ غرام كاربوهيدرات = ٤ kcal
- ١ غرام بروتين = ٤ kcal
- ١ غرام دهون = ٩ kcal

kcal = 1000 Calorie

* **قياس الطاقة في المجال الرياضي:**

- استهلاك الأوكسجين (VO_2)
- معدل ضربات القلب
- شدة الأداء البدني

* **عمليات تحرير مركبات الطاقة من مصادر الغذاء:**

تتحرر الطاقة من الغذاء داخل الجسم من خلال عمليات الأيض التي تبدأ بالهضم وتنتهي بتفاعلات خلوية معقدة، يتم خلالها تكسير المركبات الغذائية تدريجياً وتحويلها الى مركبات الطاقة التي تمثل المصدر المباشر للطاقة المستخدمة في جميع الأنشطة الحيوية والبدنية.

وعند الوصول إلى مستوى الخلية، تدخل هذه العملية فيما يُعرف بـ الأيض الخلوي (Cellular Metabolism)، وهو المرحلة الحاسمة في إنتاج الطاقة.

وعند التعمق في هذا المستوى، نجد أن الجسم لا يستخدم الغذاء بصورته الأولية، بل بعد تحويله إلى وحدات بسيطة قابلة للدخول إلى الخلية والمشاركة في إنتاج الطاقة داخل الميتوكوندريا (بيوت الطاقة)، وذلك وفق نوع المصدر الغذائي.

* **مركبات الطاقة:**

أ. مركبات الطاقة المباشرة:

١. ATP (Adenosine Triphosphate): وهو المصدر المباشر والرئيس للطاقة داخل الخلية ATP→ADP+Pi+Energy ، يتكون مركب ATP من **ثلاثة أجزاء رئيسة**:

❖ الأدينين (Adenine) : هي عبارة عن قاعدة نيتروجينية تُعد جزءاً من تركيب الأحماض النووية تمثل الجزء القاعدي من المركب.

- ❖ الريبوز (Ribose) : هو عبارة عن سكر خماسي الكربون يرتبط مع الأدينين ليكوّن مركب **الأدينوسين(Adenosine) .**
- ❖ ثلاث مجموعات فوسفات(Phosphate Groups) : هي الجزء الأهم وظيفياً ترتبط بروابط عالية الطاقة الطاقة في ATP مخزنة في الروابط بين مجموعات الفوسفات، عند كسر هذه الرابطة يتحول ATP إلى ADP وتتحرر الطاقة التي تستعمل في :

- ✓ الانقباض العضلي.
- ✓ النشاط العصبي.
- ✓ العمليات الحيوية.

ب. مركبات طاقة غير مباشرة (مخازن الطاقة):

١. **فوسفات الكرياتين(Creatine Phosphate - PC) :** مخزون طاقي سريع داخل العضلة، يستعمل في إعادة تصنيع ATP بسرعة، PC+ADP→ATP+Creatine مهم جداً في الجهود القصيرة والعالية الشدة وان الرابطة بين الكرياتين ومجموعة الفوسفات تُعد **رابطة عالية الطاقة،** وعند الحاجة للطاقة يتم نقل مجموعة الفوسفات من PC إلىADP ليتكوّن ATP بسرعة ليستعمل مباشرة في الانقباض العضلي.

٢. **الكلايكوجين(Glycogen) :** هو عبارة عن عديد سكاريد (Polysaccharide) يتكون من وحدات متكررة من الكلوكوز (Glucose) يتحول الى تلك الصيغ بوساطة هرمون **الأنسولين** يسهل تكسيره بسرعة لإنتاج الطاقة، يُخزن الكلايكوجين في الجسم في موقعين رئيسين، الكبد(Liver Glycogen) يشكل حوالي ٨٠–١٢٠ غرام وظيفته المحافظة على مستوى الكلوكوز في الدم تغذية الدماغ وبقية الأنسجة ويخزن أيضاً في العضلات (Muscle Glycogen) يشكل حوالي ٣٠٠–٥٠٠ غرام (حسب التدريب) لا يُطلق إلى الدم، بل يستعمل داخل العضلة نفسها وظيفته تزويد العضلة بالطاقة أثناء النشاط البدني.

٣. **الدهون(Fat Stores) :** تتمثل الدهون داخل الجس بصيغة ثلاثي الغليسريد (Triglycerides) ترتبط الأحماض الدهنية مع الكليسرول بروابط إستيرية، وتشكل مركباً عالي الكثافة الطاقية، تُخزن الدهون في الجسم في موقعين رئيسين:

أ. **النسيج الدهنيAdipose Tissue : المتواجد** تحت الجلد في مناطق متنوعة في الجسم مثل الارداف والبطن على سبيل المثال وحول الأعضاء الداخلية مثل الكبد ، يمثل الاحتياطي الرئيس للطاقة.

ب. **داخل العضلات(Intramuscular Fat) :** تخزن الدهون على شكل قطرات دهنية داخل الألياف العضلية تستعمل مباشرة أثناء أداء النشاط البدني

* **وظيفة الدهون:**

أ. توفير الطاقة في الجهود طويلة الأمد.

ب. الحفاظ على مخزون الطاقة الاستراتيجي.

ت. حماية الأعضاء الداخلية.

ث. المساهمة في تنظيم درجة حرارة الجسم.

* **كيف تتكون الدهون داخل الجسم:**

عند الحاجة للطاقة يتم تكسير الدهون إلى أحماض دهنية كليسرول، الأحماض الدهنية تدخل الميتوكوندريا تخضع لعملية Beta-Oxidation ، تنتج Acetyl-CoA ونواقل طاقة ثم تدخل دورة كريبس ثم سلسلة نقل الإلكترونات تم إنتاج كميات كبيرة منATP وتعد الدهون مصدر طاقة بطيء لكنه غني جداً.

- **حساب السعرات وإنتاج مركبات الطاقة من مصادر الغذاء:**

أ. تنتج الكربوهيدرات لكل (١) غم حوالي معدل سعرات يقارب (٤) كيلو سعرة ونتنج كل ١ كلوكوز في الظروف الهوائية حوالي (٣٦-٣٨) جزيء ATP، في الحالة اللاهوائية ينتج (١) حوالي (٢-٣) جزيء ATP،

ب. تنتج الاحماض الدهنية عدد اعلى من مركب الطاقة ATP قد يصل انتاج الحامض الدهني الواحد في الظروف الهوائية الى (١٢٩) جزيء ATP، لكن بعمليات ابطئ من انتاج عمليات

الكربوهيدرات وحاجة أكبر من الاوكسجين في انتاج الطاقة لذلك تصنف الدهون المصدر الثاني من ناحية الحاجة في انتاج الطاقة عند الأداء.

ت. تنتج البروتينات من خلال الاحماض الامينية في ظروف الهوائية (١٥-٢٠) جزيء ATP، وتعد مصدر ثانوي للطاقة لا يستعمل الى في الحالات الخاصة.

- **إذا كانت الدهون تنتج ATP أكثر، فلماذا لا يعتمد الجسم عليها دائماً؟**

رغم أن الدهون تُعد أغنى مصادر الطاقة، إذ تنتج كميات كبيرة جداً من ATP مقارنة بالكاربوهيدرات، إلا أن الجسم لا يعتمد عليها بصورة كاملة أثناء جميع أنواع الأداء البدني، والسبب يعود إلى أن:

المهم في النشاط البدني ليس فقط كمية الطاقة المنتجة، بل سرعة إنتاجها أيضاً.

فالعضلات أثناء الجهد العالي تحتاج إلى ATP بصورة سريعة وفورية، في حين أن إنتاج الطاقة من الدهون يتم ببطء نسبي، لأنه يعتمد على سلسلة طويلة من التفاعلات الهوائية داخل الميتوكوندريا ويتطلب توفر كميات كافية من الأوكسجين.

أما الكاربوهيدرات، ورغم أنها تنتج ATP أقل من الدهون، إلا أنها تمتاز بسرعة تفكيكها وتحويلها إلى طاقة، لذلك يعتمد عليها الجسم بشكل أكبر أثناء النشاطات عالية الشدة.

ومن هنا يظهر أن الجسم يحتاج إلى أكثر من طريقة لإعادة تصنيعATP ، بحيث يستطيع التكيف مع اختلاف:

- شدة الأداء البدني
- مدة النشاط
- كمية الأوكسجين المتوفرة

ولهذا السبب يمتلك الجسم:

ثلاثة أنظمة رئيسة لإنتاج الطاقة

تعمل بصورة متداخلة لتأمين ATP بشكل مستمر أثناء النشاط البدني.

- **أنظمة الطاقة:** الطاقة وانها قدرة الجسم على خزن واستعمال الوقود بفاعلية عالية لأحداث الانقباضات العضلية المطلوبة في اداء النشاط البدني.

اولاً: نظام الطاقة اللاهوائي ويقسم حسب مصدر الطاقة الى:

أ. النظام الفوسفاجيني (ATP-PC System) :

يعد (ATP) المخزون في العضلات مصدر الطاقة المباشر والسريع خلال هذا النظام فهو لا يحتاج الى تفاعلات معقدة وإنما من خلال أنشطار مركب (ATP) بواسطة انزيم (ATPase) لانتاج الطاقة في أداء جهد وكما موضح في المعادلة الآتية :-

$$ATP \xrightarrow{ATPase} ADP + Pi + \text{طاقة}$$

وبسبب قلة وجود هذا المركب الكيميائي في العضلة إذ تقدر كمية وجوده بـ (٣ – ٦) ملي مول / كغم عضل ، وإن هذا المقدار لا يكفي الا لثواني معدودة تقدر بـ (١ – ٤) ثا خلال أداء جهد بشدة عالية ، لذلك فالجسم بحاجة الى مركب آخر يجب استخدامه لاجل انتاج طاقة واستمرار الأداء وهذا المركب هو (CP) فوسفات الكرياتين ذات الطاقة العالية جداً والمخزون في العضلات أيضاً ، إن كمية هذا المركب تقدر بـ (١٧ – ٢٥) ملي مول / كغم عضل وهذه الكمية تكفي الاستمرار بالأداء بشدة عالية لمدة من (١٠ – ٢٥) ثا وتصل في بعض الاحيان الى (٣٠) ثا على وفق كمية هذا المركب في العضلة وحجم العضلات العاملة ، إن الطاقة الناتجة من هذا التحلل هي طاقة كيميائية وليست طاقة حركية إنما تعمل على إعادة بناء ATP بأنتقال الطاقة من فوسفات الكرياتين الى مركب ADP ثنائي فوسفات الادينوسين من خلال انزيم (CPK) كرياتين فوسفوكاينيز وعلى وفق المعادلة :

$$CP \longrightarrow Pi + C + \text{طاقة}$$

$$CP + ADP \xrightarrow{CPK} C + ATP$$

$$Pi + ADP \xrightarrow{CPK} ATP$$

$$AMP + 2cp \xrightarrow{CPK \text{ انزيم}} ATP + 2c$$

* **مميزات هذا النظام:**

١. لا يعتمد على الاوكسجين.

٢. يعمل في الفعاليات والحركات ذات الشدة العالية والزمن القصير.

٣. مدة دوام هذا النظام قصيرة تتراوح بين (١ – ٢٥) ثانية .

٤. الطاقة المنتجة قليلة لكنها سريعة جداً ويعطينا (ATP) واحداً فقط.

٥. يحدث التفاعل في السايتوبلازم في منطقة عمل الخيوط الانقباضية (المايوسين والاكتين).

٦. إن التدريب المنتظم والمستمر يزيد من كمية(ATP) و(CP) المخزون في العضلات.

يُعد نظام ATP-PC أسرع أنظمة الطاقة في الجسم، ويعتمد على فوسفات الكرياتين لإعادة تصنيع ATPبصورة فورية، لذلك يسيطر أثناء الأداءات القصيرة والعالية الشدة التي تتطلب إنتاجاً سريعاً للطاقة.

* **أمثلة رياضية: ركض ١٠٠ متر ، رفع الأثقال، القفز، الرميات.**
* **التكيفات التدريبية: التدريب عالي الشدة يؤدي إلى:**

- زيادة مخزون PC
- تحسين سرعة إعادة تصنيع ATP
- زيادة القدرة الانفجارية

ب. نظام حامض اللاكتيك(Anaerobic Glycolysis System) :

يسيطر هذا النظام بعد انخفاض قدرة نظام الفوسفات على الاستمرار في تزويد العضلة بالطاقة. إن مصدر الطاقة في هذا النظام هو الكاربوهيدرات من خلال التحلل اللاوكسجيني لكل من الكلايكوجين في العضلات والكلوكوز الموجود في الدم عبر (١٠) تفاعلات كيميائية تحدث داخل سيتوبلازم الخلية الحية ينتج عنها حوالي (3 ATP) جزيء ، من خلال تحلل سكر الدم الكلوكوز بتدخل انزيمات متعددة منها انزيم التفاعل الأول (الهيكوكاينيز HK) وانزيم التفاعل الثالث

(فوسفوفركتو كاينيز PFK) وأنزيم التفاعل العاشر (بايروفيت كاينيز BK) واكثر هذه الانزيمات اهمية هو انزيم PFK إذ يعد مفتاح عمل هذا النظام إذ إن زيادة نشاطه تؤدي الى التحلل السريع للكلوكوز بعملية تسمى Glycolysis تحدث بغياب الاوكسجين الى جانب تكوين (حامض اللاكتيك LA) واعادة بناء (ATP) ، ومن المعروف أن حامض اللاكتيك هو حامض ضعيف يؤدي ازدياد مستواه إلى تعطيل عمل الإنزيمات داخل الخلية العضلية,الى حمض البيروفيك(Pyruvate) وسرعان ما يخرج الى الدم بصيغة (لاكتات الدم) التي نستطيع من خلالها تحديد تركيز تكوين الحامض اثناء الأداء البدني

* مميزات هذا النظام :

١.لا يعتمد على الأوكسجين لتحرير الطاقة .

٢.الكاربوهيدرات المصدر الأساسي لعمل النظام .

٣.إن عمل هذا النظام يؤدي الى تراكم حامض اللاكتيك .

٤.يعمل هذا النظام في الفعاليات والحركات ذات الشدة العالية ولمدة طويلة نسبياً (٣٠ثا – ٣ د). .يحتاج الى مجموعة من التفاعلات الكيميائية .

٥.كمية الطاقة المنتجة قليلة ويمكن اعادة بناء (ATP 3) نتيجة التحلل في العضلات و (ATP 2) نتيجة التحلل في الدم.

* **أمثلة رياضية:** ركض ٢٠٠–٤٠٠ متر، السباحة السريعة، الهجمات المتكررة في كرة القدم، الجولات القصيرة في الملاكمة والمصارعة.
* **العلاقة بالتعب العضلي:**

مع استمرار النشاط يزداد تراكم اللاكتات وأيونات الهيدروجين في الدم مما يؤدي الى ينخفض pH داخل العضلة والذي يقلل كفاءة الانقباض العضلي.

* **التكيفات التدريبية: التدريب اللاهوائي يؤدي إلى:**

أ. زيادة تحمل اللاكتات.

ب. تحسين نشاط الإنزيمات اللاهوائية.

ت. زيادة قدرة العضلة على الاستمرار في الأداء العالي الشدة.

يعتمد نظام التحلل السكري اللاهوائي على تكسير الكلوكوز أو الكلايكوجين داخل السيتوبلازم لإنتاج ATP بسرعة دون الحاجة المباشرة إلى الأوكسجين، وينتج عنه اللاكتات، لذلك يسيطر أثناء الأداءات المتوسطة والعالية الشدة التي تستمر من عدة ثوانٍ إلى نحو دقيقتين.

ثانياً: النظام الطاقة الهوائي Aerobic System:

يتميز هذا النظام عن النظام اللاهوائي في إنتاج الطاقة بوجود الاوكسجين كعامل فعال خلال التفاعلات الكيميائية في استعادة بناء (ATP 39) بواسطة التحلل الكامل للكلايكوجين ليتحول الى ماء وثاني اوكسيد الكاربون وهذا يتطلب تفاعلات كيميائية عديدة وبتدخل الكثير من الانزيمات ويتم التفاعل داخل الخلية العضلية في حيز منها يدعى الميتاكوندريا ويدخل ضمن هذا النظام كل الفعاليات والحركات التي يكون ادائها من ٣ دقائق فما فوق، عندما يستمر الأداء البدني لفترة أطول وتنخفض قدرة الأنظمة اللاهوائية على تزويد الجسم بالطاقة بصورة كافية، يبدأ الجسم بالاعتماد بشكل أكبر على النظام الهوائي.

مميزات هذا النظام

١.يعتمد على وجود الاوكسجين في انتاج الطاقة .

٢.يعمل في الفعاليات ذات الشدة المعتدلة ولفترات زمنية طويلة تتراوح بين (٣ دقيقة – ٣ ساعات أو اكثر) .

٣.تستخدم الكاربوهيدرات لانتاج الطاقة مع الاوكسجين .

٤.تستخدم الدهون والبروتينات في احيان لانتاج الطاقة .

٥.الطاقة المتولدة من هذا النظام كبيرة جداً وجزئية واحدة من الكلوكوز تحرر (ATP 36) .

٦.لغرض انتاج الطاقة في هذا النظام يتطلب تفاعلات كيميائية معقدة وعديدة قد تصل الى ٣٦ تفاعل.

Glucose+O2→36–38ATP+CO2+H2O

Fatty Acid+O2→Large Amount of ATP+CO2+H2O

* **أمثلة رياضية: الماراثون ، ركوب الدراجات ، السباحة الطويلة ، المشي ،ة أغلب زمن الألعاب الجماعية .**
* **التكيفات التدريبية: التدريب الهوائي يؤدي إلى:**
  أ. زيادة عدد الميتوكوندريا
  ب. تحسين استهلاك الأوكسجين
  ت. زيادة القدرة على استعمال الدهون
  ث. تحسين التحمل البدني
* **العلاقة بين الأنظمة الثلاثة**

من المهم التأكيد أن:

أنظمة الطاقة لا تعمل بصورة منفصلة، بل تعمل جميعها في الوقت نفسه، إلا أن نسبة مساهمة كل نظام تختلف حسب شدة ومدة النشاط البدني.

فمثلاً:

- الانطلاق السريع في كرة القدم ←ATP-PC
- الجري السريع المتكرر ← النظام اللاهوائي
- الحركة المستمرة طوال المباراة ← النظام الهوائي