المحاظرة الثالثة
النظم الطاقوية

اهداف المحاضرة

- 1- نظم إنتاج الطاقة الأدينوسين الثلاثي الفوسفات

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى إمداد مستمر بالطاقة لكي تتمكن من أداء وظائفها. ويعد الأدينوسين الثلاثي الفوسفات، المعروف باسم جزيءATP ، الجزيء الأساسي المسئول عن تخزين الطاقة على المدى القصير ونقلها في الخلايا. وأيًّا كانت العناصر التي تدخل جسم الكائن الحي بوصفها مصدرًا للطاقة، سواء كانت الكربوهيدرات أو الدهون أو البروتينات، فإنها تُستخدم في النهاية لتوليد جزيئات ATP التي تعمل مصدرًا فوريًّا لجميع احتياجات الخلية الحية من الطاقة. ففي كل يوم، يصنع الجسم ويكسر جزيئات من ATP بما يعادل وزن الجسم. فإذا كان وزنك حوالي 50 كيلوجرامًا،فإنك ستستخدم في اليوم حوالي 50 kg من جزيئات.ATP

على الرغم من أن جزيء ATP عبارة عن جزيء صغير وبسيط نسبيًّا، فإن روابطه تحتوي على طاقة تكفي لأداء الوظائف الخلوية بجميع أنواعها. وهذا هو سبب تسميته بعملة الطاقة الرئيسية للخلايا؛ فمثلما تُستخدم النقود باعتبارها العملة التي يتبادلها الأشخاص للحصول على احتياجاتهم، يُستخدم جزيء ATP باعتباره المصدر الرئيسي لتخزين الطاقة اللازمة للتفاعلات التي تحدث في الخلية. وعلى الرغم من أنه يمكن استخدام جزيء ATP لتخزين الطاقة في الخلية، فإنه يعد مصدرًا فوريًّا لتخزين الطاقة أكثر من كونه طويل الأمد؛ لأنه يُكسَر ويُعاد تكوُّنه باستمرار.

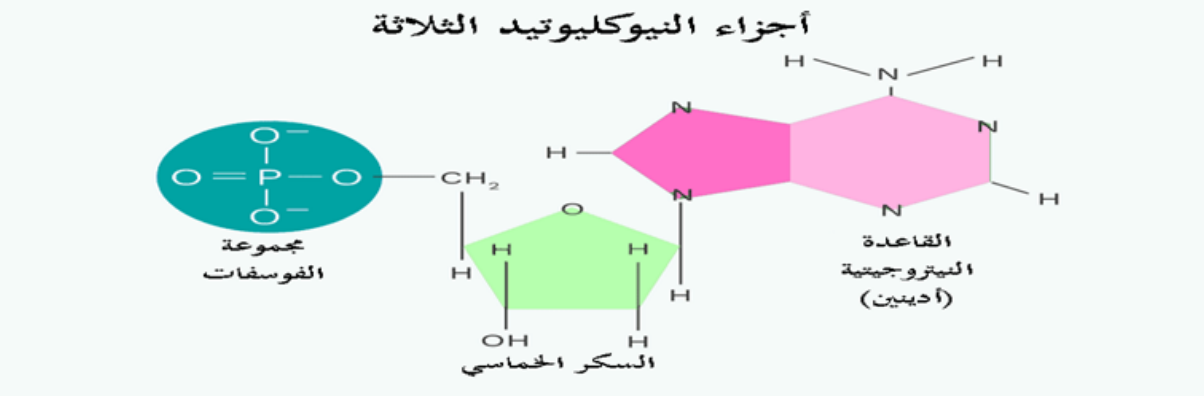
1-1- **تعريف: الأدينوسين الثلاثي الفوسفات**(ATP)

الأدينوسين الثلاثي الفوسفات (ATP) هو الجزيء الذي يخزن الطاقة الكيميائية في الكائنات الحية. جزيء ATP هو عبارة عن نيوكليوتيدة، وهذا ما قد يبدو مفاجئًا. فكلمة «نيوكليوتيدة» مصطلح نسمعه كثيرًا عند مناقشة علم الوراثة والجزيئات مثل جزيء الحمض النووي .(DNA) لكن هذا التعريف محدود نوعًا ما، فالنيوكليوتيدات لا تقتصر على كونها أحد مكونات جزيءDNA ، بل إنها اللبنات الأساسية للأحماض النووية. فهي عبارة عن وحدات جزيئية صغيرة أساسية يمكن أن ترتبط معًا لتكوين جزيئات أكبر وأكثر تعقيدًا. ومن ثَمَّ، فإن جزيء ATP وجزيء DNA وجزيء RNAجميعها عبارة عن نيوكليوتيدات.

- **النيوكليوتيدة**

النيوكليوتيدات هي مونومرات يتكون منها بوليمر الحمض النووي. تتكون النيوكليوتيدات من سكر خماسي، ومجموعة فوسفات، وقاعدة نيتروجينية. جميع النيوكليوتيدات لها تركيب محدد، فهي تتكوَّن من ثلاث جزيئات فرعية هي: قاعدة نيتروجينية، وسكر خماسي (إما ريبوز أو ريبوز منقوص الأكسجين)، ومجموعة فوسفات واحدة على الأقل. وبمعرفة الاسم الكامل لجزيءATP ، وهو الأدينوسين الثلاثي الفوسفات، وكذلك التركيب النموذجي للنيوكليوتيدة، يمكننا استنتاج بعض

المعلومات حول تركيب جزيء .ATP يوضح الشكل أدناه تركيب النيوكليوتيدة النموذجي .



الشكل رقم 2 : يوضح اجزاء النكليوتيد

يوضح الرسم تركيب جزيءATP حيث يتكون من قاعدة أدينين نيتروجينية، وسكر ريبوز خماسي الكربون، وثلاث مجموعات من الفوسفات

تشير كلمة «الأدينوسين» إلى أن القاعدة النيتروجينية الموجودة في جزيء ATP هي الأدينين، أما كلمة «الثلاثي الفوسفات» فتشير إلى عدد مجموعات الفوسفات. فكما نرى في الشكل 2 الذي يعرض مخططًا لتركيب جزيءATP ، توجد قاعدة أدينين نيتروجينية، وسكر ريبوز خماسي الكربون، وثلاث مجموعات من الفوسفات.

ترتبط مجموعات الفوسفات الثلاث بعضها ببعض بواسطة روابط عالية الطاقة يمكن كسرها بسهولة. ويُخزن مصدر الطاقة الفعلي لجزيء ATP داخل هذه الروابط الموجودة بين مجموعات الفوسفات الثلاث. وعندما تحتاج الخلية طاقة في أسرع وقت، تتكسر الرابطة التساهمية بين مجموعتي الفوسفات الثانية والثالثة في جزيءATP .

عند القاء نظرة فاحصة على التفاعل الذي يؤدي إلى تكسير الروابط الموجودة بين مجموعات الفوسفات يتضح ما يلي:

عندما تحتاج الخلية طاقة في أسرع وقت، تتكسر الرابطة الموجودة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والثالثة لتحويل الأدينوسين الثلاثي الفوسفات (ATP) إلى أدينوسين ثنائي الفوسفات (ADP) ومجموعة فوسفات غير عضوية. وتسمى عملية كسر الرابطة بين مجموعتي الفوسفات الثانية والثالثة في جزيء ATP بالتحلل المائي؛ لأن جزيء ATP يستهلك جزيئًا من الماء،

ينتج عن التحلل المائي لجزيء ATP جزيء ADP ومجموعة فوسفات غير عضوية بالإضافة إلى انطلاق طاقة حرة. يتكون «مصطلح التحلل المائي» من جزأين: «التحلل» ويعني «التفكك»، ويتم عن طريق إضافة «الماء»، وهو الجزء الآخر من المصطلح. أثناء التحلل المائي، يتفكك جزيء الماء، فتنتج عنه ذرة هيدروجين (H+) ومجموعة هيدروكسيل.(OH–)

يتشابه تركيب جزيء ADP مع تركيب جزيءATP ، باستثناء أن جزيء ADP يحتوي على مجموعتي فوسفات فقط. حيث ت وجود مجموعتي فوسفات فقط في جزيء .ADP ويحفز إنزيم ATP-هيدروليز إزالة إحدى مجموعات الفوسفات من جزيء.ATP

أثناء التحلل المائي، تُزال عادةً مجموعة الفوسفات الخارجية فقط من جزيء ATP لتنطلق الطاقة اللازمة للتفاعل. تسمى مجموعة الفوسفات التي تنطلق من جزيء ATP الفوسفات غير العضوي، وهو اسم آخر للفوسفات الحر في الخلية، ويرمز له بالرمز.Pi وينتج عن تحوُّل ATP إلى ADP نحو 7 300 سعر حراري لكل مول منATP ؛ ما يعادل تقريبًا كمية الطاقة الموجودة في حبة واحدة من الفول السوداني.

عندما يتحلل جزيء ATP مائيًّا إلى جزيء ADP وPi،إذا لم تُستخدم الطاقة المنطلقة على الفور، فإنها تُفقد في صورة حرارة (طاقة حرارية). لتجنب فقد هذه الطاقة، يقترن التحلل المائي لجزيء ATPبتفاعلات أخرى في الخلية تتطلب طاقة. وبهذه الطريقة، يمكن استخدام الطاقة المنطلقة نتيجة التحلل المائي لجزيء ATP لتحفيز تفاعلات أخرى في الخلية، بدلًا من فقدها في صورة حرارة. ولا يُترك الفوسفات غير العضوي المنطلق نتيجة التحلل المائي لجزيء ATP عائمًا في الخلية فحسب، بل يُستخدم الاستخدام الأمثل. فيمكن إضافة هذا الفوسفات غير العضوي إلى جزيئات أخرى في الخلية في عملية تسمى الفسفرة. فإضافة الفوسفات إلى الجزيئات الأخرى يمكن أن يؤدي إلى جعل المركب أكثر نشاطًا.

وعلى الرغم من أن جزيئات ATP تتكسر باستمرار لاستخدام الطاقة المنطلقة أثناء التحلل المائي وكذلك مجموعة الفوسفات غير العضوية، لكنها تتجدد باستمرار أيضًا. وإعادة تكوين جزيئات ATPأمر مهم حدوثه؛ لأن الخلايا تستخدم جزيئات ATP بسرعة كبيرة وتعتمد على هذه الجزيئات التي تتجدد باستمرار لإمداد الخلية بالطاقة.

ويُعاد تخليق جزيئات ATP بسهولة من خلال تفاعل التكثيف الذي تضاف فيه مجموعة فوسفات غير عضوية إلى جزيء .ADP وبوجه عام، فإن تفاعل التكثيف (الذي يسمى أيضًا تفاعل نزع الماء) هو تفاعل يرتبط فيه جزيئان برابطة كيميائية وينتج عن ذلك تكون جزيء من الماء، ومن ثَمَّ، فإن الماء الذي يُفقد أثناء التحلل المائي لجزيءATP ، يُعاد تكوُّنه عند إضافة مجموعة فوسفات ثالثة إلى جزيء .ADP يحفز إنزيم-ATP سينثيز إضافة مجموعة فوسفات ثالثة إلى جزيء .ADPنلاحظ أن إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيء آخر تشبه إلى حد كبير عملية الفسفرة التي ناقشناها سابقًا؛ وذلك لأنها فسفرة بالفعل. ونظرًا لأن جزيء ATP ينتج عن إضافة مجموعة فوسفات إلى جزيءADP ، يمكن اعتبار جزيء ATP نيوكليوتيدة مفسفرة.

وفي النباتات، تُخلَّق جزيئات ATP في الخلايا التي تحتوي على الكلوروفيل أثناء عملية البناء الضوئي من خلال عملية الفسفرة الضوئية. وفي كل من الخلايا النباتية والحيوانية، تتجدد جزيئات ATPأيضًا أثناء التنفس. وبينما تساعد جزيئات ATP على تحفيز التفاعلات، لكنها لا تعد جزيئات تخزين طويلة الأمد للطاقة الكيميائية. وعلى الرغم من أن السكريات السداسية مثل الجلوكوز تعتبر مواقع تخزين ممتازة للطاقة وطويلة الأمد في الخلية، فإنها تستغرق وقتًا طويلًا (ومقدارًا كبيرًا من الطاقة) لكي تتكسر. ومن ثَمَّ، فبدلًا من ذلك، لكي تتمكن الخلايا من الحصول على الطاقة سريعًا، يمكنها تحويل الجلوكوز إلى جزيئات ATP أثناء عملية التنفس الخلوي حتى تصل إلى الطاقة المخزنة بطريقة أسرع.

إن خواص جزيء ATP توضح سبب الأهمية البالغة لهذا الجزيء بالنسبة إلى الكائنات الحية. فجزيء ATP هو جزيء صغير قابل للذوبان يُمكِنه الانتقال بسهولة إلى أجزاء مختلفة من الخلية. وعلى الرغم من أن جزيء ATP صغير، فإنه عند تحلله مائيًّا، يطلق طاقة كافية لتحفيز التفاعلات التي تحدث في الخلية دون إهدار الكثير من الطاقة. ويساعد هذا التفاعل أيضًا على انطلاق جزيء

من الفوسفات غير العضوي يمكن أن يجعل الجزيئات الأخرى أكثر نشاطًا من خلال عملية الفسفرة.
وأخيرًا، نظرًا لأهمية جزيءATP ، فإن السرعة التي يتكون بها مجددًا هي حقيقة مفيدة للغاية.
هذه الخواص التي يتميز بها جزيء ATP هي ما تجعل منه مصدرًا ممتازًا لتحفيز التفاعلات. ومن ثَمَّ، يمكن تشبيه جزيء ATP بمكوك الفضاء الذي يوصل الطاقة إلى أماكن مختلفة داخل الخلية التي تحدث فيها أنشطة مستهلكة للطاقة. توجد ثلاثة أنواع عامة من العمليات التي تحدث داخل الخلايا تتطلب وجود ATP ألا وهي:

- تحفيز التفاعلات الأيضية التي لا يمكن أن تحدث تلقائيًا من خلال الفسفرة وتنشيط الجزيئات بواسطة الفوسفات غير العضوي.
- نقل المواد اللازمة عبر الأغشية؛يساعد ATP في تحريك الجزيئات والأيونات عكس تدرج التركيز.
- أداء العمليات الميكانيكية؛ حيث يوفر ATP الطاقة اللازمة لأداء بعض الوظائف مثل انقباض العضلات، حيث تتميز الطاقة الحرة الناتجة عن تحولATP إلىADP بسرعة تحويلها نظرا نظرا لعدم حاجتها إلى إلى الاكسوجين لذلك فهي الطاقة المسئولة عن الاعمال العضلية السريعة مثل العدو ورفع الأثقال والوثب والرمي ويمكن للفرد العادي ملاحظة ذلك حيث يقطع العداء سباق 100 متر جري دون ان يأخذ التنفس، ولو أننا نعلم أن زمن 100 متر عدو في حدود 10 ثواني فإن الأكسوجين يحتاج حوالي 15 ثانية حتى يصل إلى الى الرجلين، ومن هنا نفهم أن الأنشطة السريعة لا تعتمد على أكسجين الهواء لتحويل الطاقة، ولكن عملية إنتاج ATP المصدر المباشر للطاقة تتم دون أكسوجين ويطلق على ذلك التمثيل الغذائي اللاهوائي.

الشكل رقم 3 دور ATP كمصدر للطاقة في خلايا جسم الإنسان

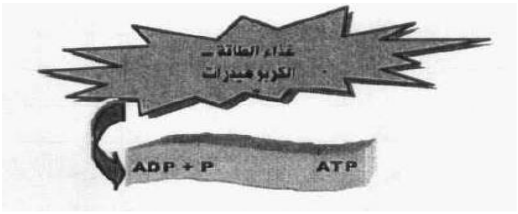
وبناءا على أن ATP هو المصدر المباشر للطاقة في جسم الإنسان ولوجوده في خلايا الجسم يصبح الإنسان جاهزا في أي لحظة لتنفيذ العمل المطلوب على وجه السرعة، هذا وتعد كمية ATP في الجسم محدودة جدا، إذ تبلغ كميته المخزونة منه في جسم الإنسان 85 غراما، وهي كمية كافية لأداء عمل عضلي سريع لبضعة ثواني، وحتى يستمر الفرد في إنتاج الطاقة يحتاج إلى مصادر أخرى تساعده على إعادة بناء ATP بصفة مستمرة حتى لا يتوقف الجسم على إنتاج جزيئات ATP التي تعد المصدر الأول للطاقة ولذلك توجد عمليات لإعادة تركيب ATP

a. **نظام ATP-PC أو النظام الفوسفاتي** :

ويتم إعادة بناء ATPفي هذا النظام من مركب واحد هو المركب الكيمائي الفسفوكرياتين.

b. نظام الجلكزة اللاهوائية glycolyse anaérobie:

- **نظام اللكتيك:** يقوم بإعادة بناء ATP هذه عن طريق تكسير الجزئي للغلوكوز أو الجلايكوجين.
- **نظام الأوكسجين:** يتكون من جزئين: يعتمد أحدهما على التمثيل الغذائي للكربوهيدرات والأخر على التمثيل الغذائي للأحماض الدهنية وبعض الاحماض الأمنية ويتم ذلك من خلال الأكسدة
- دورة كريبس



شكل رقم 4 دورة كريبس

2- تحويل المواد الغذائية المصدر المباشر للطاقة ATP

بعض النقاط التي يجب أخذها بعين الاعتبار عند دراسة نظم الطاقة نوردها فيما يلي:

لكي تنقبض عضلة لأداء عمل تحتاج إلى طاقة، تلك الطاقة تنشأ من تفاعل كيميائي ينتج الطاقة. وتتحول خلال تلك العملية الطاقة الكهربية إلى طاقة حركة. بذلك يكون احتياج الجسم للطاقة كبير لكي يستطيع القيام بالحركة الجسمانية. وتأتي الطاقة التي تحتاجها العضلة لكي تنقبض عن طريق الاقتران المائي لجزيئات أدينوسين ثلاثي الفوسفات)ATP بطارية الخلية) وتحويلها إلى أدينوسين ثنائي الفوسفات ADP وفوسفات .(Pi) فتكون جزيئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات هي موردة الطاقة للعضلة. ولكن المخزون من ATP محدود جدا ولهذا لابد للعضلات أثناء الحركة أو أثناء تدريب رياضي أن تعيد إنتاج أدينوسين ثلاثي الفوسفات من جديد، حتى تستطيع العضلة مواصلة حركتها. وتأتي الطاقة اللازمة لإعادة تركيب أدينوسين ثلاثي الفوسفات عن طريق خطوات أكسدة لمواد غذائية (مثل السكر) كربوهيدرات، أو دهون أو بمعنى أدق أكسدة أحماض دهنية أو(بروتينات) أحماض أمينية.

3- **الانزيمات مفتاح تفاعلات الطاقة.**

- **ما هي الأنزيمات (تعريف)**

الإنزيمات هي (أنواع خاصة) من البروتينات، وهي مثل جميع البروتينات، مصنوعة من سلاسل من الأحماض الأمينية .(و يتم تحديد وظيفة) الأنزيم (حسب (تسلسل الأحماض الأمينية، وأنواع الأحماض الأمينية في تلك السلسلة، وشكل السلسلة.

- **ما هي وظيفة الانزيمات:**
  - الأنزيمات مسؤولة عن الكثير من العمل الذي يحدُث في الخلايا .كما أنها تلعب دور (المُحفِّزات) فهي تُساعِد في إنتاج و تسريع التفاعُلات الكيميائية داخل الجسم .وعندما تحتاج الخلية إلى القيام بشيء ما، فإنها تستخدم دائماً أحد أو بعض الإنزيمات لتسريع العملية.
  - الأنزيمات تكون محددة :
  - الأنزيمات تكون مُحدَّدة للغاية. وهذا يعني أن كل نوع من (الإنزيمات) يتفاعل فقط مع نوع معين من المواد التي تمَّت صِناعَتَهُ من أجلها .و هذا شئ مهم جداً، حتى لا تقوم الانزيمات بفعل الشيء الخطأ و تتسبب في تفاعلات كيميائية غير مرغوبة داخل الجسم.
- **كيف تعمل الإنزيمات:**
  - الإنزيمات لها (جيب خاص) على سطحها يُسمَّى "الموقع النشط أو موقع الإرتباط". و يكون الجزيء الذي ستتفاعل معه الأنزيمات مُناسِب تماماً لحجم هذا (الجيب .(أمَّا الجُزيء أو المادَّة التي تتفاعل مع الإنزيم تُسمَّى بـ "الركيزة."

- و يحدُث رد الفعل بين (الإنزيم) و (الركيزة) في (الموقع النشط أو موقع الإرتباط .(و بعد إكتمال رد الفعل، يتم إخراج الجُزيء أو المادة الجديدة من الإنزيم. و تُسمَّى هذه المادة الجديدة بـ "المُنتَج."

- **الأشياء التي تؤثِّر على نشاط الإنزيم.**
- البيئة الموجود فيها الإنزيم و (الركيزة) يُمكِنُها أن تؤثِّر على سُرعَة رد الفعل. ففي بعض الحالات، يُمكِن لـ البيئة أن تجعل الإنزيم يتوقَّف عن العمل أو حتى ينهار. و عندما يتوقف إنزيم عن العمل نُسمِّيهِ بـ "المُعطَّل."

وفيما يلي بعض الأشياء التي يُمكِن أن تؤثِّر على نشاط الإنزيم:

-درجة الحرارة - : درجة الحرارة يمكن أن تُؤثِّر على مُعدَّل التفاعُل. فـ كُلَّما إرتفعت درجة الحرارة، سوف يحدُث رد الفِعل بِشكل أسرع. و مع ذلك، إذا أصبحت درجة الحرارة عالية جداً، فإن الإنزيم سوف يفسد ويتوقف عن العمل.

-الرقم الهيدروجيني أو (الإس الهيدروجيني) أو (درجة الحموضة) كلهم نفس المعنى - : في كثير من الحالات يُمكِن لـ مستوى درجة الحموضة في البيئة المُحيطة بـ (الانزيم) و (الركيزة) أن يؤثِّر على مُعدَّل التفاعُل .فإذا كانت درجة الحموضة (عالية جداً أو منخفضة جداً) فإن رد الفعل سيتباطأ أو يتوقف تماماً.

-التركيز - :كُلَّما كان تركيز (الركيزة) أو (الإنزيم) مُرتَفِع، كُلَّما زاد مُعدَّل التفاعُل.

-المثبطات - :المُثبطات هي الجزيئات التي تمت صناعتها خصيصاً لوقف نشاط الإنزيمات. و تستطيع المُثبِّطات أن تقوم بإبطاء (رد الفعل) أو وَقفِهِ تماماً .فبعض (المُثبِّطات) تتَّحِد مع (الإنزيم) مما يُؤدِّي إلى تغيير شكلِه و عدم عَمَلِه بشكل صحيح. أمَّا عكس (المُثبِّطات) هي (المُنشِّطات) التي يُمكِن أن تُساعِد على تسريع التفاعُل.

حقائق مُثيرة للإهتمام عن الإنزيمات:

لا تموت الإنزيمات بعد القيام بِعَمَلِها. و يُمكِن إستخدامُها بِشكل مُتَكرِّر.

- العديد من الأدوية و السموم تعمل كـ (مُثبِّطات) لـ الإنزيمات. وبعض سموم الثعابين تكون (مُثبِّطات)
- يتم إستخدم الإنزيمات في (التطبيقات الصناعية) مثل الصناعات الغذائية، وصناعة الورق، والمُنظِّفات.
- هُناك إنزيم في اللُّعاب يُسمَّى (الأميليز) وهو يُساعِد على تكسير (النشويات) أثناء مضغ الطعام.
- الإنزيمات تلعب دوراً هاماً في تكسير طعامنا حتى يُمكِن لـ أجسامنا أن تستخدِمَهُ. وتوجد إنزيمات خاصة لكسر أنواع مُختَلِفَة من الأطعمة. وهي توجد في اللُّعاب المَعِدَة والبَنكِرياس والأمعاء الدقيقة.

4- النشاط الرياضي والانزيمات

- إن الانزيمات مهمة في تمثيل الطاقة للجسم، خلال الجهد العالي الشدة ولأتمام تحلل الكلايكوجين لاأوكسجينياً يعمل انزيم LDH LacticDehydroginase(لاكتيك ديهادروجنيز) على تحويل حامض البايروفيك إلى حامض اللبنيك .وحتى في حالة الراحة فإن هذا الانزيم وبسبب نشاطه العالي يحول جزء من حامض البايروفيك إلى حامض اللاكتيك وبكميات قليلة لاتزيد عن 10ملغم/100ملر من الدم .

انزيم اللايبزLipase يقوم يتحليل الدهون إلى ثلاثي الجلسيرين واحماض دهنية لأستخدامها في الطاقة في النشاطات التي تستغرق فترة طويلة .

كما تسبب بعض الانزيماتLipoprotein Lipase في الخلايا جلب الاحماض الدهنية إلى الخلايا العضلية لغرض أستهلاكها كطاقة .

- ان العضلات تحتوي على انزيمات تستطيع إزالة النتروجين من بروتين العضلة (الأحماض الامينية) وبهذا تستطيع العضلة أستخدام بروتينها كمصدر للطاقة، وان مستوى الانزيمات يساعد على التسريع في أستخدام البروتين كطاقة حيث يتمكن المركب غير النتروجيني الدخول في دورة كريبس لإنتاج الطاقة .

- ان زيادة الحامضية أو القاعدية يحد من قدرة الانزيم على العمل وقد تتوقف قدرة الانزيم على العمل في الجو الحامضي (عند تراكم حامض اللبنيك في العضلة عند الجهد الشديد خلال فترة قصيرة) مما يسبب توقف تحرير الطاقة بسبب إيقاف عملية تحلل الكلايكوجين الذي يحلله انزيم (PEK) حيث يتوقف عن العمل أيضا.

5-دور الاكسوجين في تفاعلات تحول الطاقة

لا تعني الأكسدة أن يدخل الأكسجين في عمليات الأكسدة بفقد الإلكترون أو الاختزال باكتساب الإلكترون، يأتي مطلح الأكسدة من حقيقة أن الأكسوجين لديه ميل لاكتساب الالكترونات، لذلك يعتبر عامل أكسدة قوي، لذلك تصبح الأكسدة مستقبلا نهائيا للأكسوجين في نظام النقل الالكتروني، ويتم تحول الطاقة دون أكسوجين في نظام ATP-PC، حامض اللكتيك ويطلق عليهما التمثيل الغذائي اللاهوائي، بينما يتم تحويل الطاقة في وجود الاكسوجين وتسمى التمثيل الغذائي الهوائي، حيث يتم خلال هذه العملية إعادة بناء ATP ويتبقى ثاني أوكسيد الكربون والماء من خلال ايونات الهيدروجين والالكترونات التي تم إزالتها من دورة كريبس وأكسجين الهواء الجوي ويتم ذلك من خلال نظام النقل الالكتروني

= دور FAD و NAD كعامل أكسدة في الطاقة الحيوية.

ثنائي نوكليوتيد الأدنين وأميد النيكوتين) أو اختصاراً :ناد +NAD من الاسم الكامل (Nicotinamide adenine dinucleotideهو معاون إنزيمي موجود في جميع الخلايا الحية. المركب عبارة عن ثنائي نوكليوتيد حيث يتكون من وحدتين مرتبطتين من خلال مجموعة الفوسفات؛ إحدى النوكليوتيدين تحتوي على حلقة أدينوزين، والأخرى على النيكوتيناميد والرابطة بينهما مجموعة فوسفات.

يشارك الناد NAD في عمليات التمثيل الغذائي في تفاعلات الأكسدة والاختزال حيث ينقل الإلكترونات من تفاعل إلى آخر.أهم وظيفة له يستخدم كمرافق إنزيمي في عمليات بناء الدهون؛ كما له دور في سلسلة التنفس الداخلي التي تتم في متقدرات النوايات الخلوية بغرض تخزين طاقة في جزيئات ATP (بطاريات الخلية)

طبقا لاصطلاحات الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية تستخدم الاختصارات +NAD لشكله المتأكسد، و NADH لشكله المختزل. وقد اقترح الاتحاد الدولي استخدام الرمز NAD لهما بصفة عامة. وحاليا يستخدم الرمز NAD بدلا من +NAD والرمز NADH2 بدلا من NADH

NAD هو مادة حيوية مؤكسدة يشترك في عمليات الأيض في الخلايا الحية، وأهم وظيفة له تخزين طاقة في خلايا أدينوسين ثلاثي الفوسفات. ATP

ان قدرة الأكسدة والاختزال للجزيئن $NAD^+/NADH$ تعتمد طبقا لمعادلة رتبت على تركيزي . $NAD^+/NADH$ فإذا كان تركيز NAD أعلى من تركيز NADH يسير التفاعل في اتجاه إنتاج . NADH وحيث أن NAD^+ في الكائن الحي يعمل كمعامل أكسدة فيجب أن تكون النسبة $NAD^+/NADH$ كبيرة .

المادة المختزلة NAD**P**H تبدأ عملها في الاختزال عندما تكون النسبة .$NADP^+/NADPH$ وطالما كان زوج تفاعل أكسدة-اختزال لا يمكن أن يكون عالي القدرة على إحداث أكسدة بيولوجية وفي نفس الوقت يكون ذو قدرة منخفضة على إحداث اختزال بيولوجي، فهذا يتطلب تواجد عامل مرافق لإتمام الأكسدة والأختزال.

يوصف الشكل المختزل NADH بأنه عالي الطاقة ووظيفته في أكسدة الأيض أن يعمل كعامل مرافق لمد الطاقة في سلسلة التنفس، لإنتاج . ATP وعندما يتأكسد NADH فهو يعطي الإلكترونات التي اكتسبها من تحلل الجلوكوز و/أو الأحماض الدهنية الناتجة من دهنيات الغذاء أثناء عملية الأيض، ويعطي تلك الإلكترونات إلى الأكسجين. فينتج عن ذلك NAD^+ وهيدروجين.

كذلك يكون NAD^+ عامل مرافق في عمليات انتزاع الهيدروجين، مثلما في انتزاع الهيدروجين من الكحول ADH حيث يتأكسد الكحول.

معرفة أهمية الناد تتلخص في دوره لإنتاجATP ، وبطارية الخلية ATP هي التي تقوم بالعمل الجسماني في أول مراحله (الثلاثة ثوان الأولى للحركة ثم تتبعه مواد مخزونة أخرى مثل فوسفات الكرياتين والجلوكوز والغلايكوجين .(يقوم فوسفات الكرياتين بتعويض الفاقد من طاقة ATP على الفور. من دون ATP يموت الكائن الحي خلال ثوان؛ والمكوّن له هو جزيئات. NAD