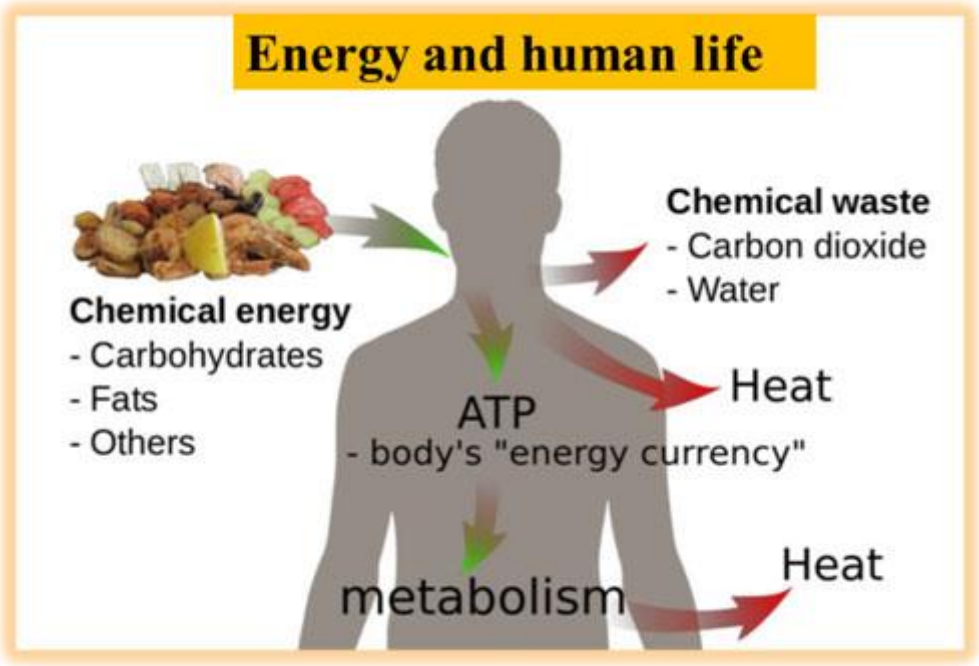
ما هي الطاقة الحيوية وما هو دور ATP؟

يعرف **علم الطاقة الحيوية** بأنها دراسة تغيرات الطاقة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية الحيوية. الانظمة البيولوجية هي في الأساس متوازنة حراريا وتستخدم الطاقة الكيميائية لتشغيل العمليات الحية. مصدر الطاقة هو الطعام من خلاله يحصل الكائن الحي على الطاقة لذا تحدث الوفاة عند الجوع حيث يتم استنفاد احتياطيات الطاقة المتاحة وترتبط أشكال معينة من سوء التغذية باختلال توازن الطاقة.



يؤدي التخزين الزائد لفائض الطاقة إلى السمنة مما يؤدي إلى العديد من الأمراض بما في ذلك أمراض القلب والأوعية الدموية ومرض السكري من النوع 2 ويقلل من متوسط العمر المتوقع.

مصادر الطاقة للكائنات الحية هي:

1. النباتات تحصل على طاقتها من خلال عملية البناء الضوئي.
2. اما الانسان والحيوان فتحصل على الطاقة من خلال عمليات ايض المركبات الحيوية (السكريات والدهون والبروتينات) ومن خلال لتفاعلات محفزة انزيميا.

يعبر عن الطاقة الحيوية بتغيير جيبس في الطاقة الحرة (ΔG) هو ذلك الجزء من إجمالي تغير الطاقة في نظام معين للقيام بالعمل.

هل تتوافق الانظمة البيولوجية مع القوانين العامة للديناميكا الحرارية؟

في البداية الانظمة البيولوجية هل هي مفتوحة أم مغلقة؟ كل الكائنات الحية نظامها يكون مفتوح مما يعني أنها تتبادل المادة والطاقة مع بيئتها. على سبيل المثال الانسان يأخذ الطاقة الكيميائية على شكل طعام ويقوم بالعمل مثل الحركة والتحدث والمشي والتنفس.

اذن يمكن وصف جميع عمليات تبادل الطاقة التي تحدث بداخلنا (مثل العديد من التفاعلات الأيضية) وبيننا وبين محيطنا بنفس قوانين الفيزياء مثل تبادل الطاقة بين الأجسام الساخنة والباردة سنلقي نظرة على قانونين فيزيائيين - **القانون الأول والثاني للديناميكا الحرارية** - ونرى كيف ينطبقان على الأنظمة البيولوجية.

ينص **القانون الأول للديناميكا الحرارية** على أن الطاقة الكلية للنظام بما في ذلك محيطه تظل ثابتة. وهذا يعني أنه ضمن النظام الكلي لا تُفقد الطاقة أو تُكتسب أثناء أي تغيير. ومع ذلك ، يمكن نقل الطاقة من جزء من النظام إلى جزء آخر أو يمكن تحويلها إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. في الأنظمة الحية يمكن تحويل الطاقة الكيميائية إلى حرارة أو إلى طاقة كهربائية أو مشعة أو ميكانيكية.

ينص **القانون الثاني للديناميكا الحرارية** على أن الانتروبي الكلي للنظام يجب أن تزيد إذا كانت العملية ستحدث تلقائيًا. الانتروبي هو مدى الفوضى أو العشوائية في النظام ويصبح الحد الأقصى مع اقتراب التوازن. في ظل ظروف درجة الحرارة والضغط الثابتين يتم التعبير عن العلاقة بين تغيير الطاقة الحرة (ΔG) لنظام التفاعل والتغير في الانتروبي (ΔS) بالمعادلة التالية التي تجمع بين قانونين الديناميكا الحرارية:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

حيث ΔH هي التغير في المحتوى الحراري و T هي درجة الحرارة المطلقة.

إذا كانت ΔG سالبة يستمر التفاعل تلقائيًا مع فقدان الطاقة الحرة أي أنها باعثة للحرارة (عملية أيضية أو كيميائية مصحوبة بإطلاق الطاقة) ويذهب التفاعل تقريبًا إلى الاكتمال ولا رجوع فيه بشكل أساسي.

إذا كانت ΔG موجبة ، يستمر التفاعل فقط إذا أمكن اكتساب طاقة حرة أي أنها ماص للحرارة (عملية أيضية أو كيميائية مصحوبة أو تتطلب امتصاص الطاقة النواتج) ولا يحدث تلقائيًا.

إذا كانت ΔG تساوي صفرًا ، فإن النظام او التفاعل في حالة توازن.

عندما تكون المواد المتفاعلة موجودة بتركيزات 1 مول / لتر ، فإن ΔG^0 هو التغير القياسي في الطاقة الحرة.

بالنسبة للتفاعلات البيوكيميائية يتم تعريف الحالة القياسية على أنها تحتوي على درجة حموضة PH تبلغ 7.0 ويمكن حساب التغير القياسي في الطاقة الحرة من ثابت التوازن التفاعل Keq.

$$\Delta G^0 = - RT \ln Keq$$

حيث R هو ثابت الغاز و T هي درجة الحرارة المطلقة.

يطلق على التفاعلات الباعثة للحرارة التلقائية اسم **الهدم catabolism** (أكسدة جزيئات الوقود هي السكريات والدهون والبروتينات) في حين أن التفاعلات الماصة للحرارة الغير تلقائية التي تبني المواد تسمى **البناء anabolism**. **تشكل عمليات الهدم والبناء مجتمعة التمثيل الغذائي Metabolism.**

يتم تعريف التمثيل الغذائي **Metabolism** على أنه المجموعة الكاملة من التفاعلات الكيميائية التي تحافظ على الحياة والتي تحدث في الكائنات الحية. عدد التفاعلات الأيضية في التمثيل الغذائي بالآلاف وتشمل هذه التفاعلات مثل تلك المسؤولة عن الحصول على الطاقة من الطعام ومعالجة وإزالة النفايات وبناء العضلات والنمو والتمثيل الضوئي في النباتات وانقسام الخلايا والتكاثر.

يتم تنظيم المجموعة الكاملة من التفاعلات الأيضية في مجموعات أصغر من التفاعلات المتسلسلة تسمى المسار الأيضية **metabolic pathway**.

تنقسم مسارات التمثيل الغذائي إلى ثلاث فئات:

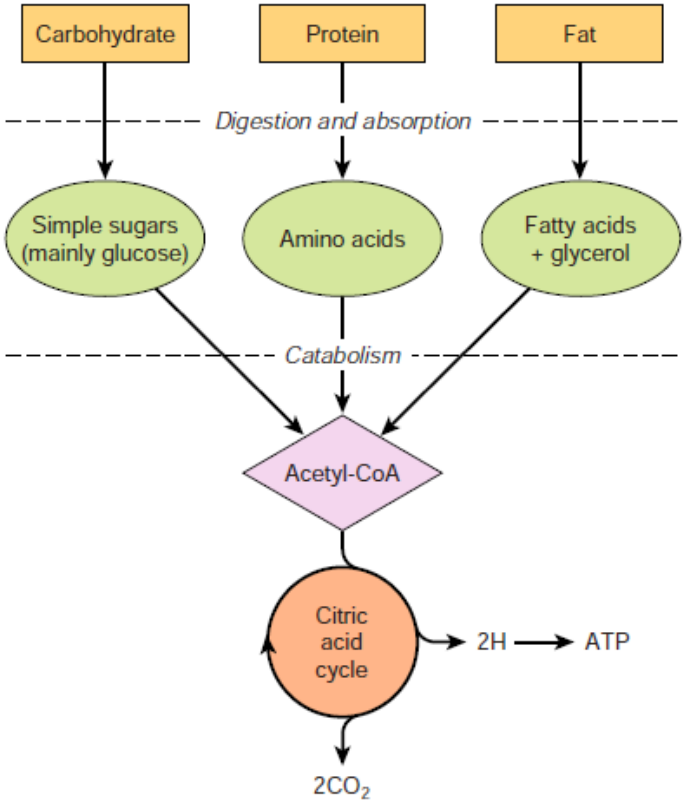
1. **مسارات البناء Anabolic pathways** والتي تشارك في تخليق مركبات أكبر وأكثر تعقيدًا من مكوناتها الأصغر على سبيل المثال تخليق البروتين من الأحماض الأمينية.

2. **مسارات الهدم Catabolic pathways** والتي تشارك في تكسير الجزيئات الكبيرة والتي عادة ما تنطوي على تفاعلات مؤكسدة تنتج مركبات حيوية طاقته عالية مثل ATP.

3. **المسارات البرمائية Amphibolic pathways** التي تحدث عند "مفترق طرق" التمثيل الغذائي تعمل كحلقات وصل بين المسارات الهدم والبناء على سبيل المثال دورة حمض الستريك.

تعد معرفة التمثيل الغذائي الطبيعي أمرًا ضروريًا لفهم التغيرات الكامنة وراء المرض يشمل التمثيل الغذائي الطبيعي التكيف مع فترات الجوع والتمارين الرياضية والحمل والرضاعة. قد ينتج التمثيل الغذائي غير الطبيعي عن نقص التغذية أو نقص الإنزيم أو الإفراز غير الطبيعي للهرمونات أو تأثير الأدوية والسموم.

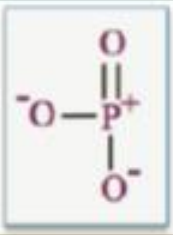
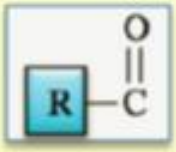
تحدد طبيعة النظام الغذائي النمط الأساسي لعملية التمثيل الغذائي. هناك حاجة لمعالجة نواتج الهضم من الكربوهيدرات الغذائية والدهون والبروتين. هذه هي بشكل رئيسي الكلوكوز والأحماض الدهنية والكلسرين والأحماض الأمينية على التوالي. يتم استقلاب جميع منتجات الهضم إلى **الأسيتايل CoA (acetyl-CoA)** والذي يتأكسد بعد ذلك بواسطة دورة حامض الستريك.



تتطلب التفاعلات الحيوية في المسارات الأيضية المختلفة الى **إنزيمات** **تعمل كعوامل مساعدة تحفز التفاعلات الكيميائية** لذلك يمكن أن تتحكم الكائنات الحية (تسريع أو قمع) في مسارات التمثيل الغذائي وفقًا لاحتياجاتها الحالية عن طريق تنظيم أو تقليل التنظيم أو تثبيط أو تنشيط واحد أو أكثر من الإنزيمات المشاركة في المسار. **الهدف النهائي** لهذه التفاعلات هو تحويل الطاقة الكامنة الكيميائية الموجودة في الطعام إلى طاقة كيميائية محتملة في شكل ATP.

الإنزيمات المساعدة في عملية التمثيل الغذائي

الإنزيم المساعد coenzyme هو مركب غير بروتيني يجب أن يرتبط بالإنزيم حتى يعمل الإنزيم. في معظم الحالات يكون الإنزيم المساعد في الواقع أحد المواد المتفاعلة في التفاعل المحفز. حيث تتبرع فيها بالإلكترونات أو الذرات أو مجموعات الذرات أو تقبل الإلكترونات أو الذرات أو مجموعات الذرات من غيرها. **الإنزيمات المساعدة الخمسة الأساسية في عملية التمثيل الغذائي للطعام في الجدول أدناه.**

Coenzyme	Species that is Transferred
ADP/ATP	phosphoryl group = 
NAD^+/NADH	hydride ion ($H:^-$) or electrons
FAD/$FADH_2$	hydride ion ($H:^-$) or electrons
coenzyme A	acyl group = 
coenzyme Q	hydride ion ($H:^-$) or electrons

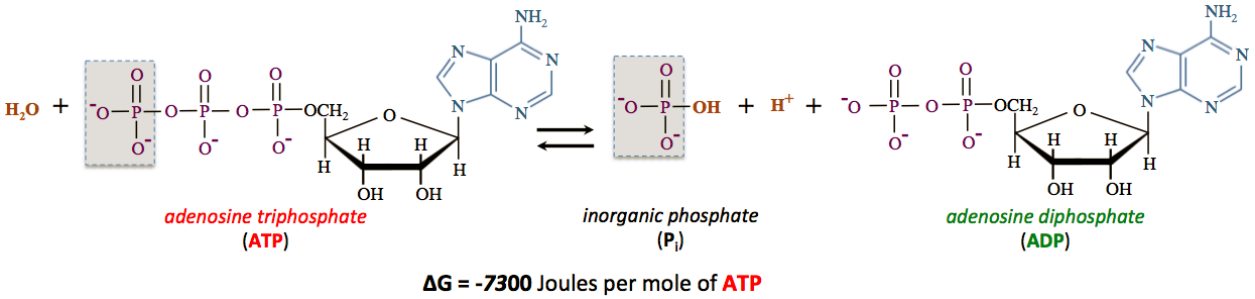
1. الإنزيمات المساعدة لنقل مجموعة الفوسفوريل ATP و ADP

يتم تصنيف ATP و ADP على أنهما أنزيمات مساعدة لأنهما يشاركان في نقل مجموعة الفوسفوريل (PO^{3-}) في العديد من التفاعلات المحفزة بالإنزيم.

- عندما يكتسب المركب اي يقبل مجموعة الفوسفوريل في تفاعل نسمي العملية **فسفرة phosphorylated**
- عندما يفقد المركب اي يتبرع بمجموعة الفوسفوريل في تفاعل نسمي العملية **منزوع الفسفرة dephosphorylated**

يتم تحويل ATP و ADP عن طريق نقل مجموعة الفوسفوريل. تتطلب إضافة مجموعة الفسفوريل إلى ADP طاقة. تؤدي إزالة مجموعة الفسفوريل من ATP إلى إطلاق طاقة.

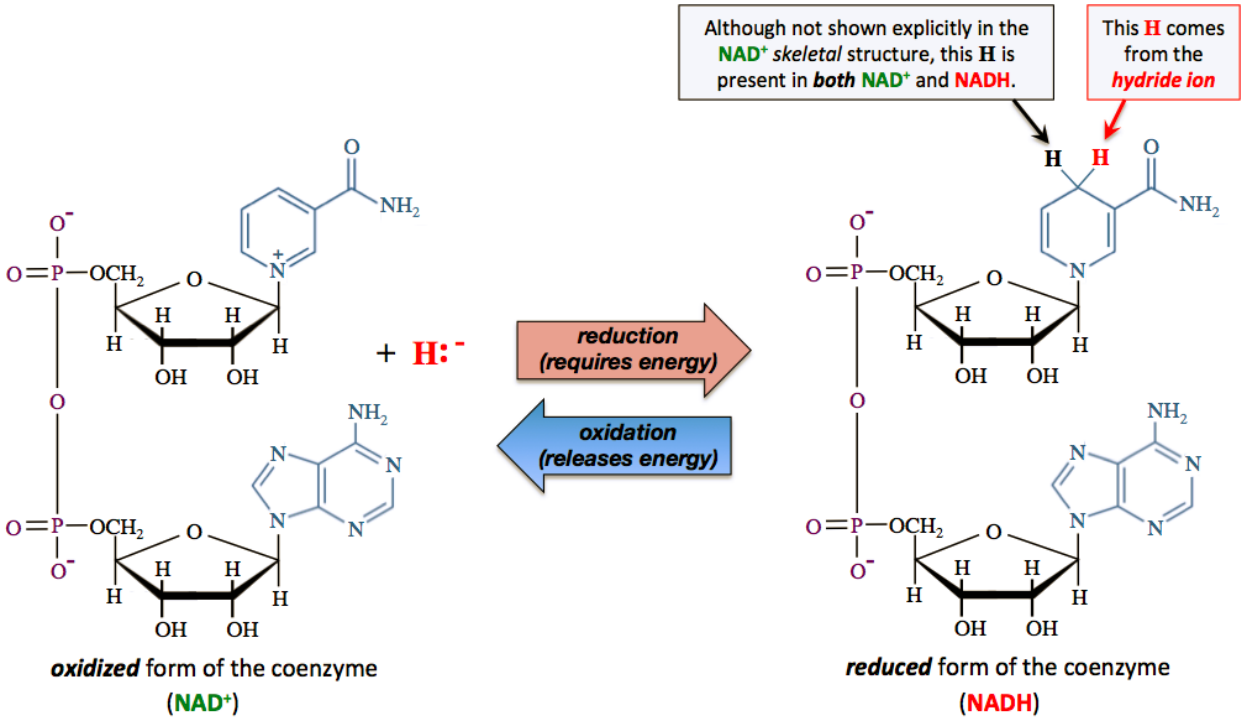
غالبًا ما يتكون ATP من تفاعل ADP مع فوسفات الهيدروجين (HPO_4^{2-}) وأيون H^+ ، كما هو موضح أدناه:



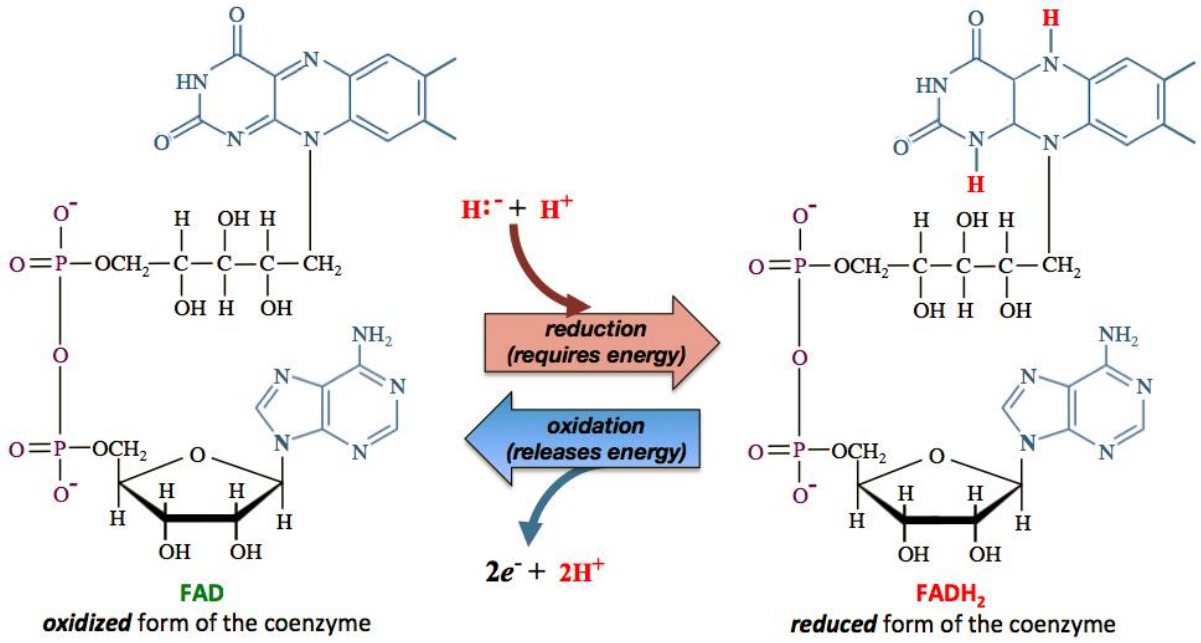
2. الإنزيمات المساعدة لنقل الإلكترون ودورها كعوامل مؤكسدة ومختزلة

ان تفاعلات الأكسدة والاختزال التي تتضمن نقل إلكترون واحد أو أكثر هي شائعة جدًا في الكائنات الحية. تتضمن العديد من هذه التفاعلات نقل الإلكترون عن طريق أيون الهيدريد ($:H^-$). يعتبر انتقال أيون الهيدريد اختزالًا بسبب إلكترون الهيدريد "الإضافي".

يتم تصنيف **نيكوتيناميد الأدينين ثنائي النوكليوتيد Nicotinamide adenine dinucleotide (NAD$^+$)** و**فلافين أدينين ثنائي النوكليوتيد flavin adenine dinucleotide (FAD)** على أنهما أنزيمات مساعدة لأنها تشارك في نقل أيون الهيدريد في العديد من التفاعلات الحيوية المحفزة إنزيمياً.



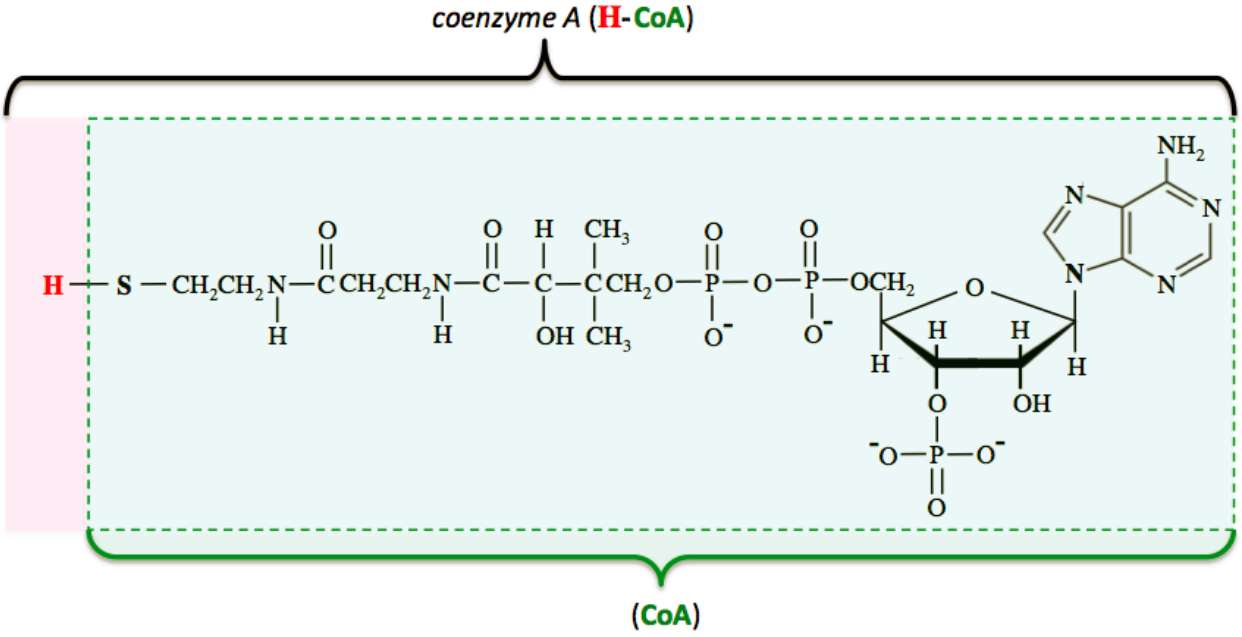
عندما يقبل NAD^+ أيون هيدريد يتم اختزاله إلى NADH ولهذا السبب يُشار إلى NADH على أنه شكل مختزل من الإنزيم المساعد NAD^+. يتطلب اختزال NAD^+ الى طاقة.



عندما يقبل FAD أيون هيدريد يتم اختزاله إلى $FADH_2$ ولهذا السبب يُشار إلى $FADH_2$ على أنه شكل مختزل من الإنزيم المساعد FAD. يتطلب اختزال FAD الى طاقة.

3. الإنزيم المساعد لنقل مجموعة الأسيل: Coenzyme A

يستخدم Coenzyme A (H-CoA) في العديد من التفاعلات الأيضية وصيغته الهيكلية موضحة أدناه.



يُصنف Coenzyme A على أنه أنزيم مساعد لأنه يشارك في نقل مجموعة أسيل في العديد من التفاعلات المحفزة إنزيمًا مختلفة تتكون مجموعة الأسيل من مجموعة كربونيل مرتبطة بمجموعة عضوية (R).

an acyl group

عندما يقبل Coenzyme A (H-CoA) مجموعة أسيل تستبدل مجموعة الأسيل الهيدروجين الموجود في تركيبة Coenzyme A. مجموعة الأسيل التي تعتبر مركزية لعملية التمثيل الغذائي للطعام هي مجموعة الاستيل.

يتم التبرع بمجموعات الأسيتيل وقبولها بواسطة Coenzyme A كما هو موضح أدناه: