جامعة تكريت / كلية التربية للبنات

القسم: **الكيمياء**

المرحلة: **الرابعة**

المادة : **الكيمياء الحياتية**

استاذ المادة : **أ.د.اسراء اسماعيل ياسين الطائي**

altaiiasr@tu.edu.iq

سلسلة نقل الالكترون والفسفرة التأكسدية

Electron Transport Chain and Oxidative Phosphorylation

التنفس الخلوي عملية حيوية عامة. وسلسلة التفاعلات التي تشمل التنفس الخلوي تُستخدَم داخل خلايا كل الكائنات الحية تقريبًا! الغرض من التنفس الخلوي هو ببساطة تكسير المركبات التي تحتوي على الكربون لإطلاق الطاقة. تُخزَّن هذه الطاقة على صورة جزيئاتATP ، وهي جزيئات صغيرة داخل الخلايا تُعَد مصدرًا للطاقة، سهل الوصول إليه ومتاحًا دائمًا، لإجراء التفاعلات والعمليات الأساسية.

يمكن أن يُقسَّم التنفس الخلوي إلى أربع خطوات متتابعة رئيسية: تحلُّل الكلوكوز، وتفاعل الربط ، ودورة كريبس (يُشار إليها أيضا بدورة حمض الستريك)، والفسفرة التأكسدية (يُشار إليها أيضا بسلسلة نقل الإلكترونات). الفسفرة التأكسدية هي المرحلة النهائية للتنفس الخلوي ، وهي المرحلة التي تولِّد أكبر كمية من جزيء ATP.

الميتوكوندريا عبارة عن عضيات متخصصة تعمل باعتبارها موقعا مناسبا لمراحل التنفس الهوائي. يُعَد كلٌّ من تفاعل الربط، ودورة كريبس، والفسفرة التأكسدية، مراحل هوائية للتنفس الخلوي، ما يعني أنه لا بد من وجود الأوكسجين كي تتم كلٌّ منها.

تحدث الفسفرة التأكسدية التي تتضمَّن سلسلة نقل الإلكترونات في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا. سلسلة نقل الإلكترونات عبارة عن تتابع من مركبات بروتينية متخصصة في نقل الإلكترونات؛ وتشمل هذه المركبات سيتوكرومات (بروتينات متخصِّصة تحتوي على مجموعة هيم ، ويمكن أن تعمل مضخاتٍ للبروتون)، وإنزيمات، ومرافقات الإنزيم.

تتم إعادة أكسدة NADH / H + إلى NAD + و FADH2 إلى FAD باستخدام الأكسجين الجزيئي (O_2) كعامل مؤكسد ، بواسطة سلسلة نقل الإلكترون.

تقع سلسلة نقل الإلكترون داخل الغشاء الداخلي للميتوكوندرياinner membrane of mitochondria.

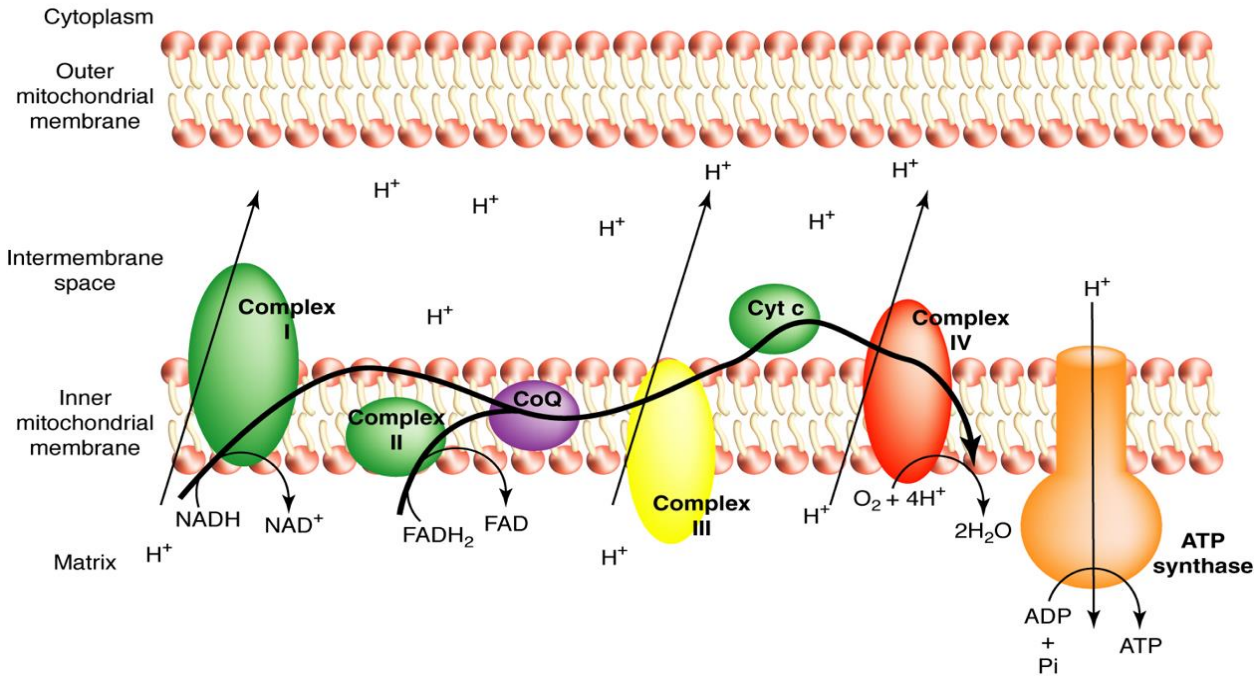
تزدوج الطاقـــــــــة الناتجـــــــة والمنبعثة في إعادة الأكسـدة بتخليق ATP من ADP و Pi بواسطة إنزيمATP synthase

يتضمن الاقتران او الازدواج إنشاء تدرج لتركيز أيون الهيدروجين عبر غشاء الميتوكوندريا الداخلي.

تأتي الطاقة اللازمة لتصنيع ATP من السماح لأيونات الهيدروجين بالتدفق مرة أخرى عبر الغشاء.

تتم عن طريق عملية ثلاثية الخطوات:

1. انتقال للإلكترونات بين جزيئات بروتينية خاصة يتم خلالها تفاعلات أكسدة– إختزال في سلسلة من الخطوات
2. استخدام حركة الإلكترونات والبروتونات بين جزيئات البروتينات الخاصة بالأيض لإجبار خلق حالة عدم توازن في تركيز البروتونات على طرفي الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا الموجودة داخل الخلايا المختلفة ، مما يخلق تدرج كهروكيميائيelectrochemical gradient
3. استخدام الطاقة المتحررة أثناء عودة التوازن في تركيزات البروتون لصنع جزيئات ATP الحاملة للطاقة (الحرارة). عند زيادة احتياج الجسم للطاقة أثناء الجري مثلا يبدأ الجسم في حرق جزيئات الأدينوسين ثلاثي الفوسفات المخزونة في الخلية ويستعين بالأوكسجين المكتسب بالتنفس .



التناضح الكيميائي والقوة المحركة للبروتون والفسفرة التأكسدية

في كل عملية نقل للإلكترون عبرETS ، يفقد الإلكترون الطاقة ، ولكن مع بعض عمليات النقل ، يتم تخزين الطاقة كطاقة محتملة باستخدامها لضخ أيونات الهيدروجين (H^+) عبر الغشاء. في الخلايا بدائية النواة، يتم ضخ H^+ إلى خارج الغشاء السيتوبلازمي ، وفي الخلايا حقيقية النواة، يتم ضخها من مصفوفة الميتوكوندريا عبر غشاء الميتوكوندريا الداخلي إلى الفضاء بين الأغشية. يوجد توزيـــــــــــــع غير متساوٍ لـ H^+ عبر الغشاء الذي ينشئ تدرجا كهروكيميائيا لأن أيونات H^+ مشحونة بشكل إيجابي (كهربائي) وهناك تركيز أعلى (كيميائي) على جانب واحد من الغشاء. يشار إلى هذا التدرج الكهروكيميائي المتكون من تراكم H^+ (المعروف أيضًا باسم البروتون) على جانب واحد من الغشاء مقارنة بالآخر باسم القوة المحركة للبروتون نظرًا لأن الأيونات المعنية هي H^+ ، يتم أيضًا تحديد تدرج درجة الحموضة ، حيث يكون جانب الغشاء الذي يحتوي على تركيز أعلى من H^+ أكثر حمضية.

تتسبب الطاقة الكامنة لهذا التدرج الكهروكيميائي الناتج عن ETS في انتشار H^+ عبر الغشاء. يجب أن يحدث هذا التدفق لأيونات الهيدروجين عبر الغشاء، والذي يسمى التناضح الكيميائي، من خلال قناة في الغشاء عبر مركب إنزيم مرتبط بالغشاء يسمى ATP .

يتدفق H^+ من الفضاء بين الأغشية إلى مصفوفة الميتوكوندريا. يؤدي تدوير أجزاء هذه الآلة الجزيئية إلى تجديد ATP من ADP والفوسفات غير العضوي (P_i) عن طريق الفسفرة التأكسدية، وهي آلية ثانية لصنع ATPالذي يحصد الطاقة الكامنة المخزنة في التدرج الكهروكيميائي.

خلاصة السلسلة التنفسية :

- يتم إنتاج معظم ATP الناتج أثناء التنفس الخلوي للكلوكوز عن طريق **الفسفرة التأكسدية.**
- يتكون **نظام نقل الإلكترون (ETS)** من سلسلة من مجمعات البروتين المرتبطة بالغشاء وناقلات الإلكترون الملحقة المتنقلة المرتبطة بها. تم تضمين ETS في الغشاء السيتوبلازمي لبدائيات النواة وغشاء الميتوكوندريا الداخلي لحقيقيات النوى.
- يحتوي كل مركب من مركبات ETS على إمكانات اختزال مختلفة ، وتنتقل الإلكترونات من حاملات الإلكترون ذات إمكانات الأكسدة والاختزال السلبية إلى تلك التي تتمتع بإمكانيات الأكسدة والاختزال الأكثر إيجابية.
- لإجراء **التنفس الهوائي** ، تتطلب الخلية الأوكسجين باعتباره مستقبل الإلكترون النهائي. تحتاج الخلية أيضا إلى دورة كريبس كاملة ، وأكسيديز السيتوكروم المناسب ، وإنزيمات إزالة السموم بالأوكسجين لمنع الآثار الضارة لجذور الأوكسجين الناتجة أثناء التنفس الهوائي.
- عندما يتم تمرير الإلكترونات من NADH و $_2$ FADH من خلالETS ، يفقد الإلكترون الطاقة. يتم تخزين هذه الطاقة من خلال ضخ $^+$ H عبر الغشاء ، مما يولد **قوة دافعة للبروتون.**
- يمكن تسخير طاقة هذه القوة المحركة للبروتونات من خلال السماح لأيونات الهيدروجين بالانتشار مرة أخرى عبر الغشاء عن طريق **التناضح الكيميائي** باستخدام مركب .**ATP synthase** عندما تنتشر أيونات الهيدروجين عبر التدرج الكهروكيميائي، تدور مكونات سينثيزATP ، مما يجعل ATPمن ADP و $_i$ P عن طريق الفسفرة التأكسدية.
- يشكل التنفس الهوائي المزيد منATP بحد أقصى 34 جزيءATP أثناء الفسفرة التأكسدية مقارنة بالتنفس اللاهوائي بين جزيء واحد و 32 جزيء.ATP