سلسلة نقل الالكترونات والفسفرة التأكسدية

ا.م.د. سوسن علي حميد
كيمياء اغذية
كلية الزراعة – قسم علوم الأغذية
٢٠١٨

سلسلة نقل الالكترونات والفسفرة التأكسدية

- يوجد ارتباط وثيق بين النواتج المختزلة لدورة كربس مع نظام نقل الالكترونات ومن هذا يعاد أكسدة المرافقات الأنزيمية المختزلة مثل NADH, FADH2 وتستعمل الطاقة المتحررة عن هذه الأكسدة في تخليق جزيئات ATP من خلال نظام نقل الالكترونات مع استعمال O2 كمستقبل نهائي وتسمى هذه العملية بالفسفرة التأكسدية Oxidative phosphorylation ومن الجدير بالذكر ان هذه العملية تحدث في المايتوكوندريا . وتتألف سلسلة نقل الالكترونات من مجموعة من المركبات الناقلة للإلكترونات حيث تكون هذه النواقل مراكز (ويوجد منها عدة الالف) في الغشاء الداخلي للمايتو كوندريا . تترتب هذه النواقل في المركز الواحد بطريقة معينه بحيث تنتقل الالكترونات خطوة تلو الاخرى من مركب ذي جهد تأكسدي منخفض الى مركب الذي يتصف بجهد تأكسدي اختزالي عالي بالنسبة لهذه الالكترونات المكونة لسلسلة نقل الالكترونات ،وهنا يتحد الاوكسجين مع ايونات الهيدروجين لتكوين ماء .

سلسلة نقل الالكترونات والفسفرة التأكسدية

- ويعتقد ان الترتيب متتابع بحيث يكون نقل الالكترون في اتجاه واحد فقط وحسب فرق الجهد . وكل مركب لا يتقبل الالكترونات الامن المركب الذي يسبقه فقط .تم التعرف على ستة نواقل للإلكترونات رئيسية تضم مابينها نواقل وسطية لا تقل عن التسعة نواقل من أبرزها أنزيم cytochrome oxidase و ,flavoprotein والنواقل الرئيسية هي FMN نيوكليد فلافين وهو المستقبل الرئيسي والاول للإلكترون من المرافق الانزيمي NADH . ينقل الالكترون بعد ذلك الى المرافق الانزيمي Q ثم يتدرج النظام الستوكروم حتى يصل الى الاوكسجين في النهاية .

سلسلة نقل الالكترونات والفسفرة التأكسدية

- NAD→FMN→CoQ→CYtb→Cytc→Cyta→O2

- وكمية الطاقة الناتجة من أكسدة NADH,FADH2 من التنفس الخلوي عن طريق سلسلة نقل الالكترونات كالتالي

- 10NADH+10H+2FADH2+32ADP+32Pi+6O2→ 10NAD+2FAD+32ATP+24H2O

ودورها في التفسفر المؤكسد Respiratory chain السلسلة التنفسية

- تعتمد السلسلة التنفسية على مجموعة من إنزيمات الأكسدة والاختزال التي تحفز تفاعلات خاصة تدعى تفاعلات الأكسدة والاختزال وتعمل في ازواج حيث يكون احد المركبات معطي للإلكترونات والأخر مستقبلا لها وعلى هذا الأساس فأن الأكسدة يقصد بها فقدان الإلكترونات من مركب وانتقالها الى مركب اخر يتم اختزاله
- المؤكسدة FAD^+ و NAD^+وبصفة عامة فالأكسدة الحيوية يتم فيها نقل الالكترونات عبر ذرات الهيدروجين.
-).) وتعود مرة أخرى لتحمل بالإلكتروناتH^+(أي أنها تفقد الكتروناتها المكتسبة من دورة كربس على هيئة بروتون)

Respiratory chain complexes
معقدات السلسلة التنفسية

- يوجد أربع مجموعات من الإنزيمات المعقدة والداخلة في تركيب الغشاء الداخلي للميتوكوندريا وتعمل هذه المجموعات
- على هيئة سلسلة متتابعة لنقل الالكترونات من مادة الوقود إلى الأكسجين وهي كما يلي:

- الناتج NADH وينحصر دوره في نقل الالكترونات من NADH-Co-enzyme-Q-oxidoreducatase يدعى
- في مرحلة تحلل الجلوكوز في الخلايا الهوائية عن طريق إدخال مكافئ له إلى الميتوكوندريا أو الناتج من بوابة التنفس

ب- المعقد الثاني Complex (2)

وهذا المعقد الإنزيمي يؤكسد ال-Succinate إلى Succinate
يدعى Coenzyme-Q-oxidoreducatase
وتنقل الالكترونات إلى Fumarate Co-enzyme- Q.

ج- المعقد الثالث Complex (3)

وهذا المعقد الإنزيمي يستخدم مركب -Reduced Coenzyme-Q
يدعى Cytochrome C-oxidoreductase
المختزل كمادة تفاعل وتنقل الالكترونات منه إلى Co- Cytochrome C.
enzyme- Q

Respiratory chain complexes
معقدات السلسلة التنفسية

- د- المعقد الرابع Complex (4)
- ويعتبر آخر الإنزيمات المؤكسدة ويعمل على نقل الالكترونات من السيتوكروم Cytochrome oxidase يدعى
- المختزل إلى الأكسجين ويعتبر إيقاف نشاط هذا الإنزيم السبب الأساسي للتسمم بالسيانيد لان السيانيد يمنعه من القيام بدوره في نقل الإلكترونات الى الاوكسجين وبالتالي يتوقف انتاج الطاقة وتحدث الوفاة كنتيجة نهائية

الأكسدة الفسفوريةOxidative phosphorylation

- الأكسدة الفسفورية هي عملية حيوية للحصول على أكبر قدر من الطاقة الايضية وجعلها متاحة في صورة مركب الطاقة الذي يستخدم لإنجاز عمليات فسيولوجية في الخلية الحية. في الحالات الطبيعية تتزامن الأكسدة مع الفسفرة وهذا يعني أن الحاجة لإنتاج كمية من الطاقة يتطلب زيادة الأكسدة لمزاد الوقود المتاحة وهذه ترتبط بزيادة معدل استهلاك الأوكسجين،

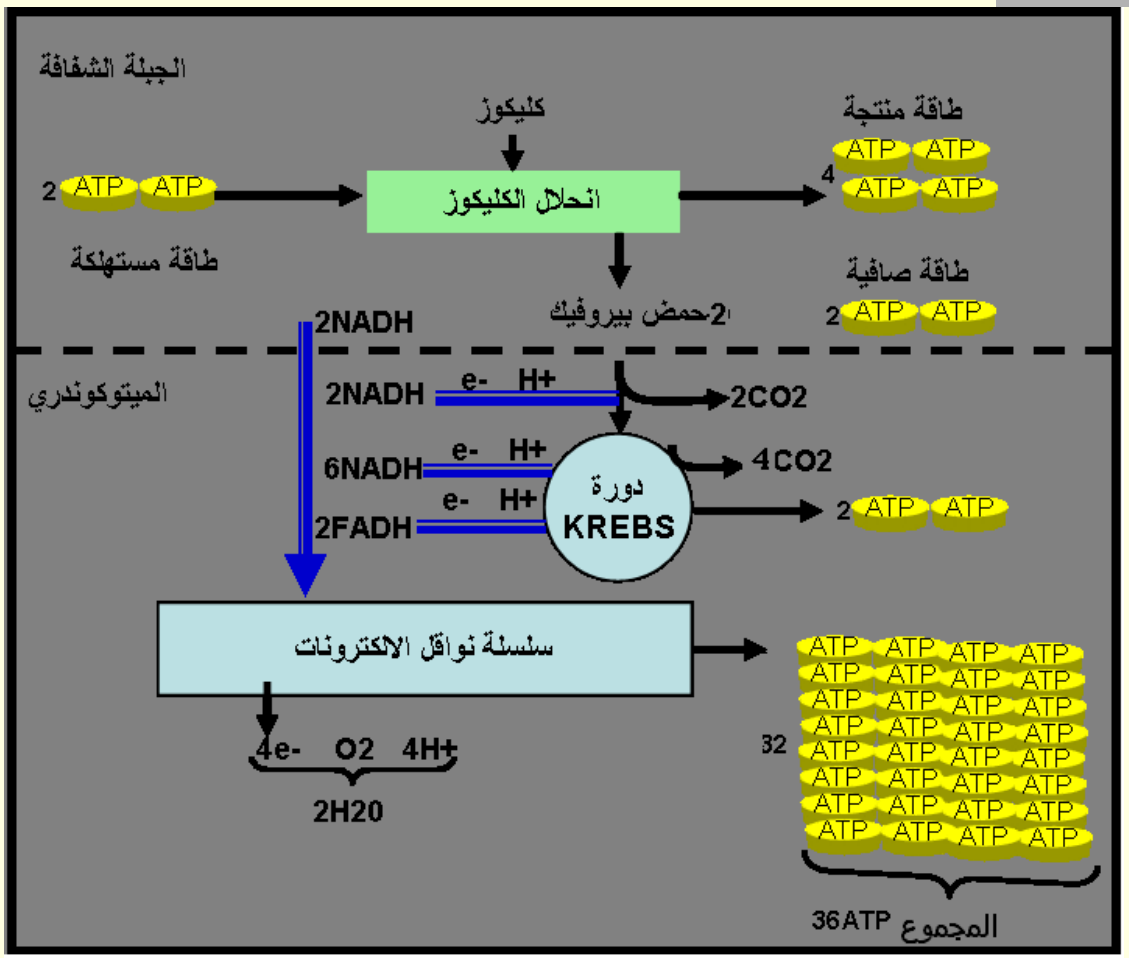
الفسفرة التأكسدية

- يمثل البروتونات H^+ من جهتي الغشاء الداخلي للميتوكندريا مدخرا للطاقة ، تسترجع خلال عودة هذه البروتونات إلى المايتوكوندريا .وفيها انزيمات ATP Santhatase الذي يستغل تدفق البروتونات وتثبيت مجموعة الفوسفات على ADP بالتالي تكوينATP. إذن فسفرة ADP لتركيب ATP مقرون بأكسدة جزيئات NADH و $FADH_2$ ، و لهذا يسمى بالتفسفر المؤكسد . أكسدة جزيئة من $NADH_2$ تحرر كمية من الطاقة تؤدي إلى تركيب 3ATP بينما كمية الطاقة الناتجة عن أكسدة جزيئة من $NADH_2$ تؤدي إلى تركيب 2ATP . إذن عن طريق التنفس الخلوي تنتج كل جزيئة من الكلوكوز :
- 4 ATP ——— 4 ATP

الفسفرة التاكسدية

- 4 ATP ——— ATP
- 30 ATP——10$NADH_2$ X 3
- 4 ATP —— 2 $FADH_2$ X 2 اذن مجموع ATP هو ٣٨ جزيئة
- **ملحوظة :** عند خلايا بعض الأنسجة (مثل العضلة الهيكلية المخططة و الدماغ) يتميز الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا بعدم نفاذيته لجزيئات $NADH_2$ التي تكونت خلال مراحل انحلال الكلوكوز حيث يتطلب وصولها إلى السلسلة التنفسية تدخل بعض النواقل الغشائية الخاصة فينتج عن ذلك تركيب جزيئة $FADH_2$ انطلاقا من كل جزيئة $NADH_2$

الفسفرة التاكسدية



السلسلة التنفسية

- **السلسلة التنفسية Electron transport chain**
- هي عملية نزع ذرات الهيدروجين(في ازواج) من NADH or (FADH2نواتج دورة كربس) التي يصاحبها انتقال للإلكترونات المحملة عليها عبر سلسلة خطية من مركبات ناقلة للإلكترونات(مركبات السيتوكرومات التي هي عبارة عن جزيئات تحتوى على ذرات الحديد وإثناء مرور الالكترونات تتحول من الحديد وز الى الحديديك Fe++ ➔Fe+++ , e-) وبانتقال الالكترونات تفقد طاقتها على مراحل وتستخدم الطاقة المنطلقة في تكوين مركب الطاقة ATP عن طريق الجمع بين ADP ومجموعة الفوسفات الغير عضوية Pi