قسم علوم الحياة / المرحلة الثالثة

المحاضرة الثانية الفسلجة الحيوانية د. مريم إبراهيم سلمان

التنفس الخلوي Cellular Respiration

أن أهم ما يميز الكائن الحي هو حاجته الدائمة للطاقة وان وان لم يقم بأية فعالية ظاهرة لان انقطاع مصدر الطاقة عن الكائن الحي معناه الموت . وتعد نتائج هضم الغذاء (التي يأتي الكلوكوز في مقدمتها من حيث الأهمية وسهولة الحصول على الطاقة منه) المصدر النهائي للحصول على هذه الطاقة.

إن الطاقة لا تتحرر مباشرة وانما تمر بسلسلة من الخطوات الصغيرة ، حيث تجرى (٣٠) خطوة مختلفة لتحويل جزيئة واحدة من سكر العنب الي ماء وثاني اوكسيد الكاربون لتحرير الطاقة. وتجرى بعض هذه الخطوات اكثر من مرة ولذلك العدد الكلي للخطوات التفاعلية (١٤٠) خطوة. وليست الخطوات التفاعلية الثلاثين عشوائية فلكل خطوة منها خميرة خاصة اضافة لوجود الكثير من مساعدات الخمائر وتترتب الخمائر ومساعداتها بحيث أن المنتوج من خميرة معينة يكون مادة التفاعل بمساعدة الخميرة التالية.

وتسير الجزيئات المشتقة من سكر العنب من خميرة الى اخرى في السلسلة. ويطلق على سلسلة التفاعلات التي تتم بمساعدة هذه الخمائر بالطريق الايضي (Metabolic Pathway) وتحتوي الخلية الواحدة على المئات من هذه الطرق سواء ما كان منها مسهما في تحليل جزيئات الغذاء ام ما كان منها مسهما في بناء المكونات الخلوية الجديدة.

ان تحليل جزيئة سكر عنب واحدة بصورة كاملة يتطلب ثلاث طرائق أيضية متميزة ولكنها متداخلة وهي:

١ - التحلل السكري Glycolysis

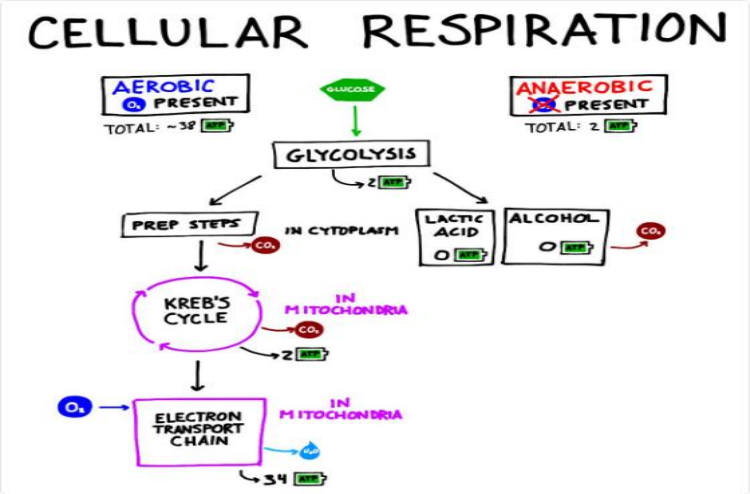
٢ - دورة كريبس Krebs Cycle

٣ - سلسلة الفسفرة التنفسية Respiratory chain phosphorylation

اولاً : التحلل السكري:

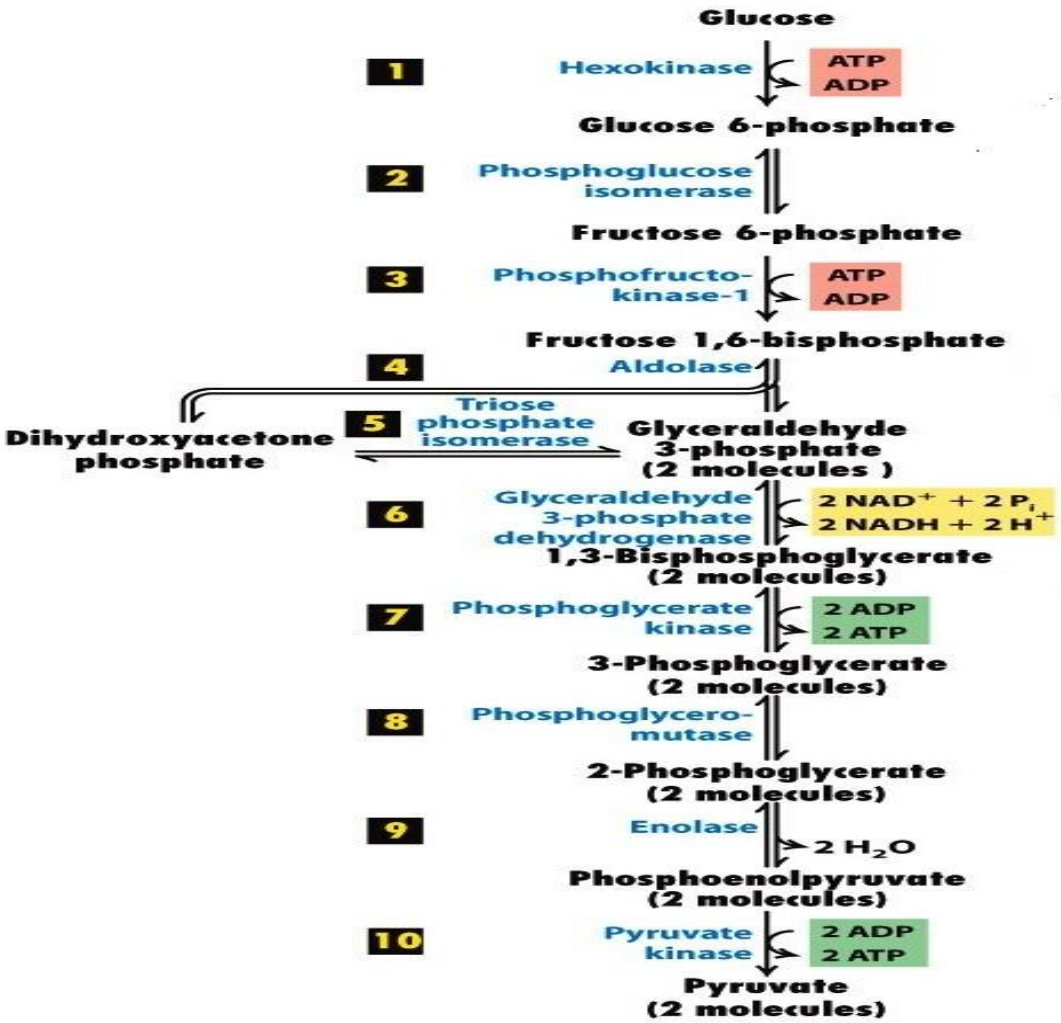
ويسمى هذا الطريق ايضاً طريق اميدن، ماير هوف (Meyerhob - Embden) العالمين اللذين شخصا جميع المركبات الوسيطة لهذا الطريق عام ١٩٣٠. ويشمل هذا الطريق عشر خطوات تحفزها عشر خمائر ويستهلك فيه جزيئتان من ثالث فوسفات الادينوسين في خطوتين من الخطوات الثلاث الأولى ، وليس غريبا إن يستهلك بعض من الـ (ATP) في عملية وجدت أساسياً لانتاج الـ (ATP) ذلك لان الهدف الرئيس من استخدام الـ (ATP) داخل الخلية هو تسهيل التفاعلات الخلوية ، حيث تعمل مجاميع الفوسفات المشتقة من جزيئات الـ (ATP) على تفكيك قيد الالكترونات من الجزيئات العضوية ونقلها من الحالة الخاملة الى الحالة الفعالة ومنتوج هذا الطريق هو انشطار جزيئة سكر العنب الى جزيئتين من حامض البايروفيت (الشكل الأيوني لحامض البايروفيك) وتنتج جزيئتان من الـ (ATP) حيث تكونت اربع جزيئات من الـ (ATP) اثنتان عوضت عما استهلك منها.

يدخل حامض البابروفيت هذا بوجود الأوكسجين الطريق الايضي الثاني (دورة كربس) ويكون المنتوج عند غياب الأوكسجين حامض اللبنيك الذي يعد تراكمه ضارا في الكائنات التي تعتمد على الأوكسجين في تنفسها ، ويتحول حامض البايروفيت في بعض الخلايا الخاملة، الى كحول اثيلي وثاني اوكسيد الكاربون.



يطلق مصطلح التنفس الهوائي على الطريقين الاول والثاني والثالث لأنهما يحتاجان الى الاوكسجين. بينما لايحتاج الطريق الأول اليه ولذلك يطلق عليه التنفس اللاهوائي. ويجري التحلل السكري في السايتوبلازم لأن خمائره الخاصة موجودة هناك بينما يجري الطريقان الاخران في داخل المايتوكوندريا حيث توجد خمائرهما هناك.

التحلل السكري

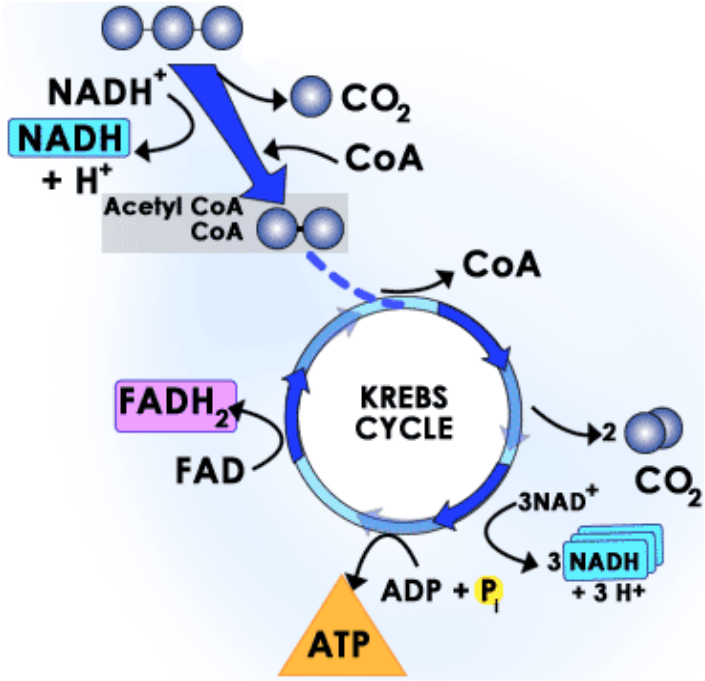


ثانياً: دورة كريس Krebs Cycle:

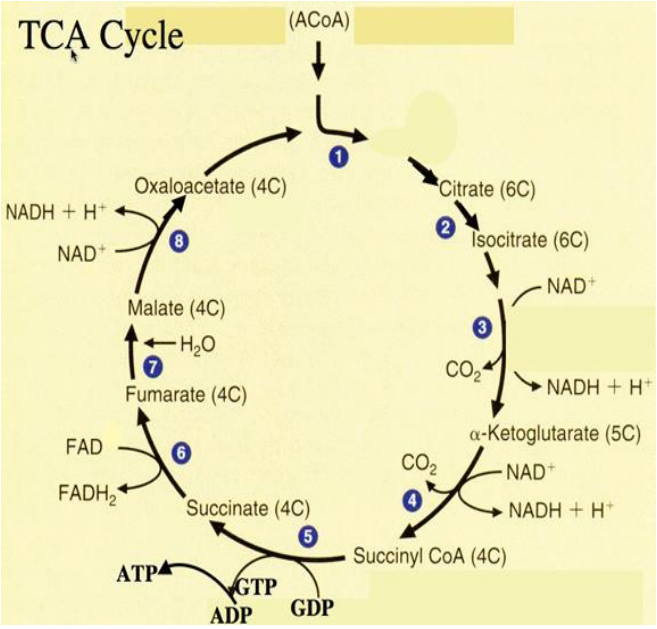
تفقد جزيئة البايروفيت جزيئة من ثاني أوكسيد الكاربون ثم يتحد المنتوج بالخميرة المساعدة Co - A لتكوين مركب الأسيتايل كو - A. ويدخل هذا المركب في سلسلة تفاعلات دورة كريس التي يجري خلالها انتقال ذرات الهيدروجين و الكتروناتها المقترنة بها الى مساعد الخميرة (+ NAD) منتجة مساعد الخميرة المختزل NADH لذلك يمكننا القول ان اهم وظيفة لدورة كريس هي تكوينها مساعدات الخمائر المختزلة. أن منتوج تحلل جزيئة سكر عنب واحدة في دورة كريس هو 2 ATP و$4CO_2$ و (2H) 8.

Krebs Cycle

Acetyl CO-A ———————— 4(2H) + ATP + $2CO_2$



دخول الحامض البايروفي دورة كريس



دورة كريس

ثالثاً: سلسلة الفسفرة التنفسية:

ويتضمن هذا الطريق الايضي نوعين مستقلين من التفاعلات هما:

١ . انتقال الكترون ٢ . الفسفرة.

تمر الكترونات ذرات الهيدروجين المأخوذة من تفاعلات دورة كريس من حامل لها الى حامل اخر. وتعرف هذه الحاملات بالسايتوكرومات (اغلبها بروتينات تحتوي على الحديد). ويتناوب كل حامل بين الحالة الاختزالية والتأكسدية. ويعد الأوكسجين اخر مست للالكترون ويختزل بشكل دائم مكوناً الماء وهذا ما يفسر الحاجة الدائمة للاوكسجين في عملية التنفس الهوائي. يفقد الالكترون بعض طاقته عند كل عملية انتقال من سايتوكروم الى اخر. و تستخدم هذه الطاقة لتحويل جزيئات ثاني فوسفات الأدينوسين الي ثالث فوسفات الأدينوسين.

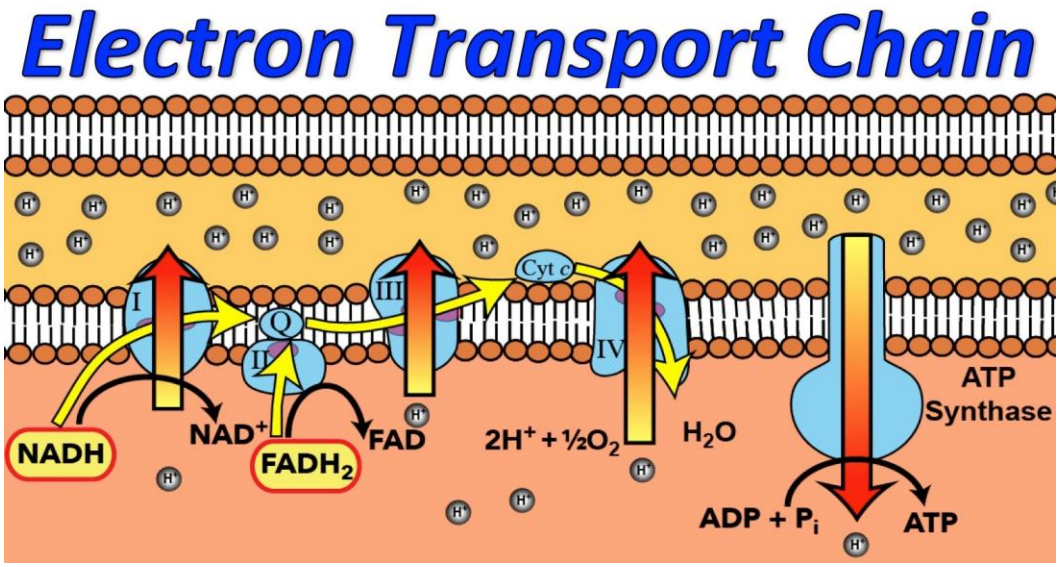
(من دورة كربس تحمله السايتوكرومات) 2e

$$1/2\ O_2 \text{ ———————————— } O + 2H \text{ ——— } H_2O$$

$$ADP + PI = ATP$$

ويتضح من المعادلة السابقة أن ما يسمى بسلسلة الفسفرة التنفسية هو بأختصار عملية صنع (ATP) من الـ (ADP) نتيجة اكسدة ذرات الهيدروجين الحاصلة من مرحلتي تحلل السكر ودورة كربس. وهي الوسيلة الرئيسة للحصول على الطاقة المفيدة لمعظم الخلايا الحية. وتحصل الخلايا من هذا الطريق على حوالي ٩٠% من الطاقة المفيدة التي يمكن ان تتحرر من جزيئات السكر أو جزيئات المواد الغذائية الأخرى بالمقارنة مع ٥ % من الطاقة المفيدة حاصلة من التحلل السكري واخري من دوره كربس مباشرة.

تحصل الخلية في حالة حرق جزيئة سكر عنب واحدة على ٣٤ جزيئة من الـ (ATP) خلال سلسلة الفسفرة التنفسية بمقارنتها باربع جزيئات تحصل عليها الخلية بصورة مباشرة من مرحلتي تحلل السكر ودورة كربس.



نقل الطاقة Energy Transfer

تقوم جزيئات ثالث فوسفات الأدينوسين (ATP) بحمل الطاقة التي تحررت من عمليات الهدم الى التفاعلات التي تحتاج هذه الطاقة خلال فعاليات الجسم المختلفة. وتعتبر جزيئات ثالث فوسفات الأدينوسين الغنية بالطاقة مصدراً لـ ٤٥% من الطاقة المفيدة بينها تتحرر ٥٥% الأخرى من الطاقة من جزيئات الغذاء بشكل حرارة وتعود الطاقة المخزونة المفيدة في هذه الجزيئات الى المحيط بصورتين.

١. حرارة مباشرة. ٢. عمل آلي.

قد يكون عملاً ظاهرياً كالحركة ورفع الأشياء والكلام وقد يكون داخلياً كحركة القلب والقناة الهضمية أو يكون كيمياوياً كالنمو وبناء المركبات العضوية وتغادر هذه الطاقة في نهاية الأمر بشكل حرارة أيضا.

تتألف جزيئة ثالث فوسفات الأدينوسين من قاعدة نايتروجينية (الأدنين) وسكر احادي، خماسي الكاربون (الرايبوز) وثلاث مجاميع من الفوسفات ترتبط مجاميع الفوسفات في جزيئات ثالث فوسفات الأدينوسين بعضها ببعض بأواصر تكون الاثنتان الاخيرة منها ذات طاقة عالية وتنفصم احدى هاتين الآصرتين في عملية التحلل المائي للجزيئة وتتحرر كمية من الطاقة تقدر بحوالي (٨) كيلو سعرة. ويتحول ثالث فوسفات الأدينوسين الى ثاني فوسفات الأدينوسين (ADP). وتتحرر (٨) كيلو سعرة اخرى عند انفصام الاصرة النهائية الثانية يتحول بعدها ثاني فوسفات الأدينوسين الى اول فوسفات الأدينوسين (AMP). ويعد كلا التفاعلين من التفاعلات الراجعة. فعندما تضاف مجموعة فوسفات الى الـ (AMP) يتحول الى (ADP) وعند اضافة مجموعة فوسفات الى الـ (ADP) يتحول الى (ATP).

وتوجد في العضلات جزيئات فوسفاتية ذات طاقة عالية ايضا هي فوسفات الكرياتين (CreatinPhosphate - CP). ولا يمتلك هذا المركب القدرة على اعطاء طاقته مباشرة الى التفاعل الذي يحتاجه كما يفعل ثالث فوسفات الأدينوسين، ويقتصر دور فوسفات الكرياتين على خزن الطاقة الفائضة ليعطيها وقت الحاجة الى جزيئة الـ (ADP) الذي يتحول حينذاك الى (ATP) ويحصل ذلك بعد انفصام الأصرة الوحيدة التي تربط حزينة الفوسفات الوحيدة بجسم المركب وتتحرر طاقة مقدارها (٩) كيلوسعرة ويعد هذا التفاعل من التفاعلات الراجعة أيضاً. وتخزن الطاقة على هيئة فوسفات الكرياتين عندما يتوافر فيض منها في الخلية. حيث تمنح جزيئات ثالث فوسفات الأدينوسين مجاميعها الفوسفاتية الى الكرياتين ليتحول الى فوسفات الكرياتين وتتحول هي الي ثاني فوسفات الأدينوسين.

ولاتعد جميع المركبات العضوية الفوسفاتية جزيئات ذات طاقة عالية. فالكثير منها كالكلوكوز -٦- فوسفات جزيئات تحمل طاقة قليلة. حيث أن تحللها مائياً ينتج من ٢ - ٣ كيلو سعرة / مول بالمقارنة مع جزيئة الـ (ATP) التي تنتج عند تحللها مائياً من ٨ - ١٠ كيلوسعرة / مول.