**المحاضرة العاشرة تقنيات التخمر**

**السيطرة على عملية التحلل السكري :**

يتبين مما سبق ان الوظيفة الاساسية  للتحلل السكري هي نقطتان:

1- تجهيز الطاقة اما بشكل مباشر بتكوين مركب ATP او من خلال اكسدة المركبات الوسطية الناتجة بدورة كريب Tricarboxylic acid (TCA).

2- تكوين الهيكل الكاربوني carbon skeleton لمكونات الخلية المختلفة .

ويستخدم مصطلح Amphibolic reaction عادة للتعبير عن هكذا تفاعلات مزدوجة مثل الكلاكوليسز لكونها تنتج مركبات الطاقة في بعض الخطوات وتستهلكها في خطوات اخرى لتميزها عن التفاعلات الهدمية catabolisms الصرفة التي تحرر طاقة فقط , وكذلك تميزها عن عمليات البناء anabolism . ان الطاقة الناتجة بشكل (ATP) في التفاعلات الباعثة للطاقة exergonic سوف تستهلك من قبل التفاعلات المستهلكة للطاقة endergonic عند عمليات التحول لل ATP و AMP والانزيم المسؤول عن عمليات التحول هو adenylate cyclase .

ATP +AMP adenylate cyclase 2ADP

عندما يكون محتوى الطاقة واطئ داخل الخلية فان عملية الكلاكوليسز ستتحفز, و بالعكس فعندما يكون عالي فان عملية هذه العملية ستنخفض . وتكون عملية التحول هذه متوازنة بفعل التغير الذي يحصل في تفاعلين محددين بالدورة هما :

1 – عملية فسفرة المركب fructose-1,6-Bisphosphate بفعل انزيم phosphofructokinase (PFK) .

2- تحول المركب Phosphoenolpyruvate (PEP) الى البايروفيت بفعل انزيم pyruvate kinase , لذا فان انزيم PFK يتحفز بالاتجاه الامامي بوجود مركب ال AMP او ADP اي عند انخفاض مستوى الطاقة , ويتثبط بال phosphoenolpyruvate . بينما انزيم pyruvate kinase فانه يتحفز بواسطة ال ATP وال fructose-1,6-bisphosphate .

وهناك نقطة سيطرة اخرى خاصة بهذه الدورة تعرف بال precursor activation وهي عكس حالة السيطرة المعروفة بالسيطرة الرجعية feedback control inhibition التي فيها يعمل الناتج النهائي على تثبيط الانزيم المسؤول عن الخطوة الاولى في العملية الايضية . اما ال precursor activation فان اول ناتج يعمل على تنشيط الانزيم المسؤول عن الخطوة الاخيرة في الدورة , ويمكن اعتبار مركب fructose-1,6-bisphosphate هو اول ركيزة اساسية غي الدورة تقود الى تكوين البايروفيت واخر انزيم هو pyruvate kinase.

مسار فوسفات البنتوز :

اعتبرت دورة الكلاكوليسز لسنوات عديدة هي الدورة الوحيدة لتمثيل الكلوكوز لحين اكتشاف دورة فوسفات البنتوز والتي تعتبر ذات اهمية كبيرة للكائنات الحية عموما وللعديد من انواع البكتريا خصوصا . وتكون الحصيلة النهائية لعملية اكسدة (6) جزيئات من glucose -6-p هي تحول جزيئة واحدة الى غاز ثاني اوكسيد الكربون وماء مع اعادة ترتيب وتكوين خمس جزيئات من الكلوكوز المفسفرة ثانية . [ويسمى](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%84%D8%BA%D8%A9_%D8%A5%D9%86%D8%AC%D9%84%D9%8A%D8%B2%D9%8A%D8%A9) مسار فوسفات البنتوز (pentose phosphate pathway) أو (phosphogluconate pathway) أو (hexose monophosphate shunt) أو (HMP pathway) وتعرف بانها العملية [الكيمائية](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%83%D9%8A%D9%85%D9%8A%D8%A7%D8%A1) التي يتم من خلالها تكوين [البنتوزات](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A8%D9%86%D8%AA%D9%88%D8%B2) أو السكريات خماسية الكربون.

ان مسار فوسفات البنتوز ينتج مركبات مهمة جدا وهي : الكوانزيم( الانزيم المساعد) NADPH , وهو بدوره يعمل كناقل للالكترونات, وهذا الكوانزيم متخصص غالبا في عمليات البناء ومن بينها : صناعة الأحماض الدهنية, الكلسترول...اما السكريات خماسية الكربون : فانها تدخل في تكوين النيكليوتيدات.

وخطوات التفاعل هي :

1- ان هذه الدورة تشتق من دورة الكلاكوليسز بشكل مباشر ويكون فيها عملية اكسدة G-6-P بشكل يؤدي الى تكوين 6-phosphogluconate ويشترك انزيم glucose -6-phosphodehydrogenase , بعد ذلك يتحلل مركب lactone المتكون بفعل انزيم lactonase ليكون مركب 6-phosphogluconate والذي بدوره يؤكسد لاحقا وتزال منه جزيئة CO2 ليعطي سكر خماسي مفسفر هو Ribulose – 5- phosphate وان ذرة الكربون المزالة هي ذرة رقم (1) .

2- يتكون المركب Ribulose – 5- phosphate وتحت تاثير انزيمات xylulose epimerase و pentose phosphate isomerase يتكون مزيج متوازن مركبات Ribulose – 5- phosphate وRibose-5-p و xylulose-5-p ثم يحدث اعادة ترتيب لذرات الكاربون لهذه السكريات الخماسية المفسفرة تحت تاثير انزيمات transaldolase و transketolase وتتكون مركبات وسطية رباعية وسباعية الكربون C4 و C7بسلسلة من التفاعلات التي لا تحتاج الاوكسجين وجزيئة واحدة من Ribose-5-p و xylulose-5-p تتفاعلان لتكوين سكر سباعي الكربون يسمى sedoheptulose -7-p وسكر ثلاثي الكربون هو glyceraldehyde-3-p والتفاعل يحدث بفعل انزيم transketolase الذي يحتاج الى عامل مساعد هو(TPP) thiamine pyrophosphate .

3-ثم يحدث تفاعل نقل بين المركبين glyceraldehyde-3-p و sedoheptulose -7- p يشترك فيه الانزيم transaldolase ويتكون نتيجة ذلك fructose-6-p والسكر الرباعي المسمى ب erythrose -4-p .

4- انزيم transketolase يشترك بتفاعل بين erythrose -4-p و xylulose-5-p وينتج عن هذا التفاعل مول اخر من fructose-6-p ومول واحد من glyceraldehyde-3-p وجزيئة fructose-6-p بفعل انزيم phosphohexose isomerase تحول الى glucose -6-p ويمكنها بالتالي ان تعود الى الدخول للدورة مرة ثانية , وعليه فان المحصلة النهائية للدورة لغاية هذه المرحلة هي :

6 glucose-6-p 4-glucose –p + 2 glyceraldehyde -3-p +6CO2

5- يقوم الانزيم triose phosphate isomerase بتحويل جزيئة واحدة من glyceraldehyde -3-p الى dihydroxyacetone-p وهذه تتحد مع جزيئة اخرى glyceraldehyde -3- p )) فتكونان fructose -1,6-bisphosphate ثم يحدث لهذه الجزيئة ازالة مجموعة فوسفات واعادة ترتيب ال isomerized فتعطي glucose-6-p وهذا يكون الجزيئة الخامسة من glucose-6-p ( الاربعة السابقات ذكرت بالمعادلة ) من خلال التفاعلات نجد ان تفاعلين قد ادت الى تكوين NADPH وبذلك فانه (12) جزيئة ( لان في كل تفاعل 6 ) يجب ان يعاد اكسدتها في كل دورة . وفي البكتريا وبالاعتماد على النوع فان اثنين او ثلاثة من ال ATP تنتج من اكسدة ال NADPH وعليه فان كمية ال ATP هي اما 24 او 36 جزيئة ولكن واحدة قد صرفت خلال عملية فسفرة الكلوكوز الى glucose-6-p وبهذا يكون التفاعل الكلي النهائي في الطاقة هو :

Glucose+6O2 6CO2+6H2O+ATP(23 or 35 )

هذه التفاعلات توضح كيف ان دورة البنتوز تكون الطاقة من خلال اكسدة الكلوكوز كليا الى CO2 وماء ومع هذا فان هذه النتيجة لا تعتبر النتيجة الاساسية والوحيدة لهذه الدورة وان ال NADPH المتكون يعتبر المصدر الرئيسي للمواد المختزلة التي تحتاجها الخلية بعملية تمثيل الدهون وايضا الدورة تهيئ الهيكل الكربوني للمركبات الوسطية ومركبات اخرى مثل pentose و erythrose و triose phosphate.

ويجب ملاحظة ان عملية اعادة الترتيب اللاهوائي للهيكل الكربوني للسكريات الخماسية المفسفرة يمكن لخمس جزيئات من السكريات السداسية المفسفرة ان تعطي ستة جزيئات من السكريات الخماسية المفسفرة من خلال التفاعلات لا تأكسدية non – oxidative على عكس عملية اكسدتها المباشرة الى سكر خماسي مفسفر و CO2 . وهكذا التفاعلات لها اهمية في بعض الخلايا كما في بعض خلايا pseudomonas التي تفتقر الى انزيم 6-phosphogluconatedehydrogenase وبالتالي فليس لها القدرة على تكوين السكر الخماسي المفسفر بفعل عملية الاكسدة وازالة الكربون لل glucose-6-p وبهذه الحالة فان ال fructose -6-p و glyceraldehyde-3-pيمكنها ان تبدان بالتفاعلات اللاهوائية التي تعود الى تكوين السكر الخماسي المفسفر pentose-p.

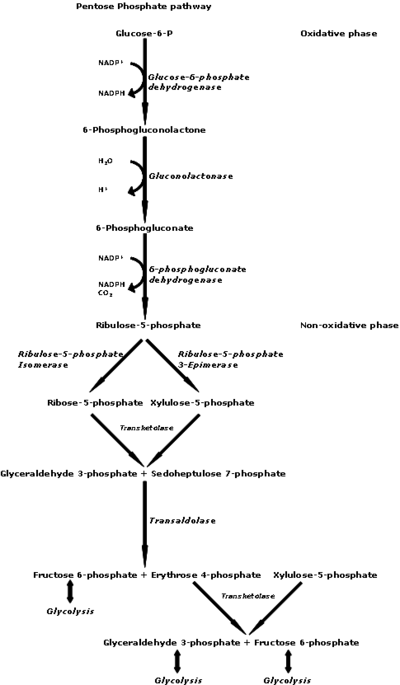
مما سبق يتبين ان هذه العملية انتجت :

12 جزيئة NADPH وحسب نوع البكتريا فانه يمكن ان ينتج 2 او 3 من جزيئات ATP في السلسلة التنفسية لكل NADPH تؤكسد وعليه فان عدد ال ATP الناتجة اما :

2×12 = 24

او 3 × 12 = 36

ولكن تم حرق ATP عند اول خطوة وهي تحول الكلوكوز الى glucose-6-p لذا فان الباقي اما ATP 23 او 35 ATP.

[](http://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%84%D9%81:Pentose_Phosphate_Pathway.png)

مسار فوسفات البنتوز