

Syrian Arab Republic

Education Ministry

National Center For The Distinguished

الجمهورية العربية السورية

وزارة التربية

المركز الوطني للمتميزين

حلقة بحث مقدمة لمادة العلوم الطبية الحيوية:

استقلاب السكر (تحلل السكر - حلقة كريبس)



تقديم الطالبة:

لمى عدنان رمضان

بإشراف المدرس:

أ. نضال حسن

2015 / 2014

للعام الدراسي:

مخطط البحث :

- _ أهمية الاستقلاب في الجسم .
- _ السكريات و أهميتها الحيوية .
- _ تصنيف السكريات إلى أحادية ، ثنائية.... مدعماً بالفكر المترابطة مع ذلك .
- _ كيف تتم عملية امتصاص السكريات .
- _ آلية امتصاص السكريات في الجسم .
- _ أهم سبل استقلاب السكر ومنها تحلل السكر و حلقة كريبس .
- _ أهمية تحلل السكر في الجسم .
- _ المراحل التي يتم خلالها تحلل السكر مع الصور التوضيحية .
- _ أهم أنظيومات تحلل السكر .
- _ بعض أمراضات حدوث خلل في تحلل السكر .
- _ أهمية حلقة كريبس و مراحل دورتها .
- _ أهم أنظيومات حلقة كريبس .
- _ أمراضات حدوث خلل أثناء دوران حلقة كريبس .
- _ خاتمة بتلخيص عام عما سبق مرفقة بالأراء و بعض التوصيات .

إشكالية البحث :

- _ كيف يحصل الإنسان على الطاقة ليتمكن من قيامه بوظائفه الحيوية التي تضمن بقائه على قيد الحياة؟
- _ يحتوي غذائنا على الكثير من المواد العضوية و اللاعضوية و أهمها السكريات ، لكن هنا السؤال كيف يحصل جسمنا على الطاقة من هذه المواد الضرورية ؟
- _ كثيراً ما نصادف في حياتنا أناس يعانون من أمراض بسبب خلل في استقلاب تلك المواد ؟ أو ربما الإفراط في تناولها؟
- _ جميع هذه الأسئلة سنقوم بالإجابة عليها ضمن هذه الحلقة لكن بما يخص السكريات .

المقدمة:

جميعنا يتناول السكريات بشكل يومي دون أن يعلم أسمائها و أهميتها ، و كلنا نندهش من تفاوت أحجامنا و كيف يصبح الإنسان بديناً و هي قضية يومية ، و هناك قضايا عديدة تشغل فكر الإنسان بخصوص هذا الموضوع مثل الشعور بالتخمة أو الجوع

كثيراً ما تتردد كلمة أو مصطلح استقلاب عند الحديث عن العناصر الغذائية المختلفة و لا سيما بعد انقضاء شهر الصوم ، و شكوى الكثير من الناس من الصداع المصاحب للجوع أثناء الصيام ، أحياناً لانخفاض نسبة السكر في الدم بعد فترة طويلة من عمليات استقلاب طبيعية و مستمرة طوال العام ، فما الحقيقة العلمية و الطبية لعملية الاستقلاب الغذائي ، و ما أهميتها ؟ و كيف تتم ؟ و كيف يمكن التحكم بها؟ كل ذلك تجاوب عليه الكيمياء الحيوية...

الكيمياء الحيوية فرعاً من فروع الكيمياء التي تلامس حياتنا اليومية ، فمهمتها الأساسية هي البحث بطرق كيميائية في ظروف الحياة سواء عند الإنسان أم الحيوان أم النبات ، فالدسم و السكريات و غيرها من مكونات المادة الحية جميعها يحتاجها الجسم ليقوم بوظائفه الحيوية فالكيمياء الحيوية تدرس هذه المواد و أهميتها ، هذا ما دفعني لإجراء حلقة بحث عن هذا الموضوع الشيق الذي ينعطف مع أمور حياتنا اليومية و يشغل أذهاننا بشكل كبير ، و لا نملك أدنى معلومات مقنعة بخصوص ذلك ، آملة أن ينال إعجابكم هذا العمل البسيط المهم ، فقد بذلت قصارى جهدي و حاولت بشتى الوسائل أن أخرج عملاً يليق بمركزنا و بأداء قدراتنا كمتميزين ، علماً أن هذا الموضوع على مستوى عالٍ من قدرات التفكير و المهارات العلمية ، كما يتطلب مزيداً من الجهد للوصول إلى الحقيقة العلمية ، فكان لا بدّ من إجراء بحثٍ عن هذا الموضوع



الاستقلاب الحيوي الغذائي: 1

كثيراً ما تتردد كلمة أو مصطلح استقلاب بالحديث عن التغذية، فما هو الاستقلاب؟

الاستقلاب هو تلك العمليات البيو كيميائية التي تتم داخل الجسم عندما يقوم ببناء الأنسجة الحية من مواد الطعام الأساسية ومن ثم يفككها لينتج طاقة، و يحتاج ذلك إلى عملية هضم الطعام في الأمعاء و امتصاص خلاصاتها و تخزينها كمرحلة انتقالية لدمجها في أنسجة الجسم ثم تفكيكها إلى ماء و ثنائي أوكسيد الكربون التي تتولد من الاستقلاب لا تتحول كلها إلى حرارة بل تخزن داخل الخلايا و تستخدم عند الحاجة.

هناك طوران من الاستقلاب: طور البناء و طور الهدم.

في البناء يتم تحويل تلك المواد إلى مركبات بسيطة تستطيع خلايا الجسم تحرير الطاقة منها باستخدامها لأداء وظائفها والحفاظ على حياتها، يقاس الاستقلاب بالحريرة، ويعتمد عدد الحريريات المحروقة في اليوم على عدة عوامل تشمل: معدل الاستقلاب الأساسي والجهد العضلي و نسبة الكتلة العضلية إلى الشحوم في الجسم.

الهدم يعني تكسير المواد الغذائية الرئيسة سواء كانت كربوهيدرات (سكريات) أو بروتينات أو دهون خلال طرق مختلفة من التفاعلات الحيوية إلى جزيئات بسيطة و ينتج عن ذلك الحصول على الطاقة ، و البناء بناء للجزيئات البسيطة الناتجة من عملية الهدم يمكن استخدامها نواة لبناء مواد أكثر تعقيداً سواء كانت بروتينية أو أحماض نووية من خلال سلسلة من التفاعلات ، و ذلك لبناء الأنسجة و تستهلك طاقة في تلك التفاعلات ، و تأخذ عمليات البناء و الهدم مسارات مختلفة من ناحية التفاعلات الحيوية داخل جسم الكائن الحي ، يتم فيها تحويل المواد الكيميائية عن طريق سلسلة من الأنزيمات ، هذه الأنزيمات هي حاسمة لعملية التمثيل الغذائي ، حيث تعمل كمحفزات للسماح لهذه التفاعلات على المضي بسرعة و كفاءة أكثر .

إن معظم الهياكل التي تشكل الحيوانات والنباتات والميكروبات مصنوعة من ثلاث فئات أساسية من الجزيئات : الأحماض الأمينية ، السكريات و الدهون ، ووظيفة التمثيل الغذائي تتركز في استخدام هذه الجزيئات في بناء الخلايا و الأنسجة أو تقسيمها و استخدامها كمصدر للطاقة ، و يمكن أن تجتمع هذه المواد الكيميائية لتشكل متعددات الجزيئات (البوليمرات) مثل الحمض النووي والبروتينات



صورة توضح بعض المواد الغذائية الغنية بالسكريات

السكريات :

السكريات مركبات عضوية واسعة الانتشار في كل من النسيج النباتية والحيوانية، حيث تقوم بدورين حيث هما دور تركيب و دور استقلابي، ففي النبات تتشكل السكريات بعملية التركيب الضوئي، يتشكل الجلوكوز بدءاً من الماء واليخضور وضوء الشمس كمصدر للطاقة.



تتكوثر جزيئات الجلوكوز لتعطي السيللوز الذي يبني منه هيكل الخلية النباتية ، و النشاء (المادة الادخارية الرئيسة في النبات) ، أما في الخلايا الحيوانية فتوجد السكريات بشكلين رئيسيين هما الجلوكوز و الغليكوجين اللذان يستخدمان كمصدر أساسي للطاقة .

ويمكن للحيوانات أن تتركب بعض السكريات من المواد الدسمة و البروتينات ، لكن الجزء الأكبر من السكريات الحيوانية يأتي في نهاية الأمر من النباتات .

الأهمية الحيوية للسكريات :

تدخل السكريات في تركيب اغشية كريات الدم الحمراء و تعتبر جزءا من تركيب :النويدات (DNA , RNA) وبعض الهرمونات مثل التيروغلوبين كما تدخل في تركيب مولد الليفين و طليعة الخثرين التي تساعد على تخثر الدم .

تصنيف السكريات:

تعرف السكريات كيميائياً بأنها مشتقات الدهيدية أو كيتونية لمركبات كحولية عديدة الهيدروكسيل ، أو تؤدي حلمتها إلى تشكل هذه المشتقات و تصنف إلى :

(1) _ **السكريات الأحادية** : أي السكريات البسيطة و هي السكريات التي لا تعطي عند حلمتها أية سكاكر أبسط منها مثال :

الجلوكوز (Glucose)الفركتوز (Fructose)الجالاكتوز (Galactose).

(2) السكريات الثنائية :

وهي السكريات التي تعطي بحلمتها جزئين متشابهين من أحاديات السكر مثال : المالتوز (Maltose)أو سكر الشعير (غلوكوز ، غلوكوز)، اللاكتوز أو سكر اللبن (جالاكتوز ، غلوكوز) السكروز أو سكر القصب (غلوكوز، فركتوز).

(3) قليلات السكر :

وهي سكريات تعطي بحلمتها من 3_6 جزيئات من السكريات الأحادية مثال : المالتوتريوز (ثلاثي سكرية) ، لا توجد عادة بصورة حرة بل تشكل سلاسل جانبية مع عديدات السكر في البروتينات السكرية و الغليكانات البروتينية .

(4) عديدات السكريد :

وهي سكريات تعطي بالحلمهة أكثر من 6 جزيئات من السكريات الأحادية منها عديدات سكريد ذات سلاسل مستقيمة أو متفرعة مثال : النشويات و الديكسترينات ، و تسمى هذه السكريات أحياناً بالهكسوزات أو البنتوزات و ذلك بالاعتماد على نوعية أحادي السكريد الذي تعطيه عند حلمتها ، و قد تكون عديدات السكريد متجانسة أو مختلطة .

السكريات الأحادية :

تصنف هذه السكريات بطريقتين :

الأولى :

بحسب زمرة الكربونيل الموجودة فيها فإن كانت في نهاية السلسلة سميت ألدوزات (Aldoses)

و إن كانت في وسط السلسلة (كيتونية) سميت كيتوزات (Ketoses)

الثانية: بحسب عدد ذرات الكربون المشكلة لهيكل السكر فهي :

ثلاثية (Trioses)، رباعية (Tetroses)، خماسية (Pentoses)، سداسية (Hexoses)

أو سباعية (Heptoses) .

مثال : الغلوكوز : ألدوهكسوز الفركتوز : كيتوهكسوز.

و تعد الألدوبنتوزات و الألدوهكسوزات أكثر شيوعاً في الطبيعة .

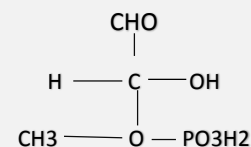
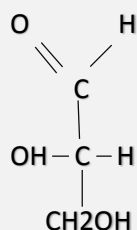
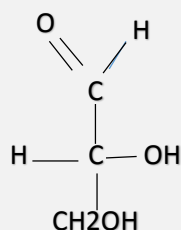
(A) _التريوزات (Trioses):

صيعتها الإجمالية $C_3H_6O_3$ وهي أبسط السكاكر الأحادية وتتشكل في عضوية الإنسان و الحيوان

كنتاج لتفكك السكاكر الأكثر تعقيداً ، توجد هذه السكاكر بشكلين كيتوني وهو ثنائي هيدروكسي

الخلون (أي الكيتوني) على شكله المفسفر الشكل (1) و ألدهيدي هو الغليسريد ألدهيد

(الغليسروز) صيعتهم الكيميائية موضحة في الأسفل:



الشكل (1)

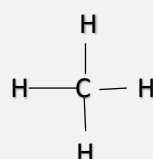
ونظراً لاحتواء الغليسير ألدهيد على ذرة الكربون لا متناظرة.

فإن ذلك يؤدي إلى:

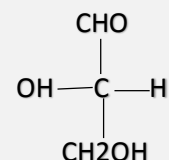
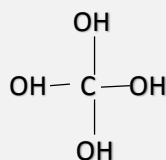
1_ وجود عدد من المصاوغات (المتماكبات) (Isomers)

تدعى المركبات التي لها صيغة بنيوية واحدة و لكنها مختلفة في شكلها الفراغي بالمتماكبات الفراغية ، و تحسب هذه بالعلاقة 2^n حيث n عدد ذرات الكربون اللامتناظرة .

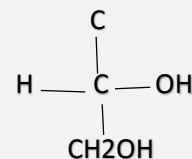
يعتمد في تسميتها على وضع ذرتي (OH) و (H) حول ذرة الكربون اللامتناظرة فإن كانت زمر (OH) على يمين ذرة الكربون فالسكر من الزمرة D و إن كانت إلى يساره فالسكر من زمرة L لكن معظم السكريات الطبيعية هي من الزمرة D وهي أكثر تأثيراً بفعل الأنظمة النوعية والخاصة لهذه الزمرة أما من النوع L فهي غالباً ما تكون اصطناعية.



أمثلة عن ذرات كربون
متناظرة



أمثلة عن ذرات كربون
لامتناظرة



2_ التدوير البصري (Optical rotation):

إن وجود ذرات كربون لامتناظرة في مركب ما يمنح هذا الأخير فعالية ضوئية Optical Activity

يؤدي مرور شعاع ضوئي مستقطب (أي قطب موجب و قطب سالب) في محلول سكري إلى انحراف هذا الشعاع (تدويره) بزاوية محددة α فإن كان هذا الانحراف إلى اليمين سمي ميئناً و يرمز له ب (+) و إن كان الانحراف إلى اليسار سمي ميسراً و يرمز له ب (-) ومن الجدير بالذكر أن الشكلين المتخايلين لسكر ما يحرفان الضوء بزاوية نفسها α و باتجاهين متعاكسين .

يختلف التصاوغ البصري عن الشكل الهندسي الفراغي فالأوزيمكن أن يكون D(-) L(-) D(+) L(+) لدى وجود كميات متساوية من المصاوغ D والمصاوغ L في محلول ما، يكون المزيج الناتج غير فعال ضوئياً إذ أن فعالية كل مصاوغ سوف تعدم فعالية المصاوغ الآخر ، يسمى مثل هذا المزيج بالمزيج الراسيمي أو المزيج DL

إن المركبات المحضرة اصطناعياً ، تكون راسيمية بالضرورة لأن الفرص المتاحة لتشكيل كل من المصاوغين (المماكبين) الفعالين ضوئياً تكون متماثلة تماماً.

(B) _ الألدوتتروزات Aldotetroses:

صبيغتها الكيميائية $C_4H_8O_4$ ، تنشأ الأوزات الرباعية (نظرياً) من إضافة كربون جديد بين ذرتي الكربون (1,2) من الأوز الثلاثي ، فيكون للمركب الجديد ذرتا كربون لا متناظرتان ، عدد المركبات المماكية الممكنة ($2^2=4$) اثنان من النوع D ويشتقان من D-الجليسر ألدهيد و اثنان من النوع L ويشتقان من L-الجليسر ألدهيد.

تسمى هذه الأزواج المتخاللة إريتروز إذا كانت زميرتا OH في جهة واحدة ، أما إذا كانت في جهتين متعاكستين تسمى تريئوز ، و تدعى أمثال هذه السكاكر التي تختلف عن بعضها بالتوجه الفراغي حول ذرة كربون لا متناظرة وحيدة بالإيميرات ، يوجد الشكلان إريتروز و تريئوز في الطبيعة و جسم الإنسان وهما حلوا المذاق و قابلان للانحلال في الماء .
واحد من الأوزات الرباعية له أهمية خاصة و هو D-إريتروز الذي يوجد في الكائن الحي على شكله المفسفر في استقلاب سبيل البنتوز فوسفات (تحويلة الهكسوز أحادي الفوسفات) .

(C) _ الألدوبنتوزات Aldopentoses:

صبيغتها الكيميائية $C_5H_{10}O_5$

تنشأ من الأوزات الرباعية بإضافة كربون جديد بين ذرتي الكربون (2,1) من الأوز الرباعي ، فيكون للمركب الجديد ثلاث ذرات كربون لا متناظرة فعدد المماكبات ($2^3=8$) أربعة منها من النوع D و أربعة مخاللة من النوع L و هي:

1) Ribose-D: غالباً ما يوجد في الكائن الحي على شكل β -D-Ribofuranose ويدخل في تركيب التماثل مثل NAD , NADH والبروتينات الفلافينية ، كما يدخل في تركيب الـ ATP و الحموض النووية RNA أما 2-ديوكسي الريبوز فيدخل في تركيب الـ DNA ، وفي الغالب يوجد في الكائن الحي على شكل β -D-Deoxyribofuranose.

2) D-الأرابينوز : يتوفر في الصمغ العربي و صمغ الكرز و النخل و معظم النباتات ، و يدخل في تركيب البروتينات السكرية.

3) D-الليكسوز : يدخل في تركيب الليسكوفلافين المستخرج من العضلة القلبية عند الإنسان.

4) D-الكسيلوز : يتوفر في صمغ الخشب و عديدات السكريد المخاطية.

5) D-الريبولوز : أوز خماسي كيتوني و هو أساسي في استقلاب سبيل البنتوز فوسفات .

(6) D-ديوكسي هكسوز : سميت هذه المركبات سابقاً بـ ميتيل بنتوز ، تحتوي هذه السكريات على ست ذرات كربون لكا بالرغم من ذلك فإنها تعد أوزات خماسية حيث تكون ذرة الكربون السادسة جذراً ميتيلياً محمولاً على الكربون الخامس .

ومن أهم انماطه : _ الرامنوز : يوجد في النبات و هو مكون أساسي لأحد أدوية الجهاز القلبي الوعائي المسمى Oubaine.

_ الفوكوز : من المكونات الأساسية للبروتينات السكرية عند الإنسان ، كما يوجد في حليب المرأة .

D) _ الهكسوزات Hexoses : صيغتها الكيميائية $C_6H_{12}O_6$

تشتق من الاوزات الخماسية بالطريقة السابقة ويكون عدد المماكات ($2^4=16$) ثمانية منها من النوع D و ثمانية من النوع L و أهمها الغلوكوز و الغالاكتوز و المانوز و الفركتوز .

D-الغلوكوز :سكر العنب يتوافر في الطبيعة بشكل نشاء وسللوز وهو سكر جسم الإنسان يحمله الدم وتستعمله الأنسجة المختلفة (كبد ، عضلات ، والسائل الدماغي الشوكي) كوقود أساسي لها ، و يفرغ في البول في حالات البيلة السكرية .

D-الغالاكتوز : سكر الحليب كما يتوافر في الطبيعة في الصمغ و يمكن أن يرتبط مع الغلوكوز و يشكل اللاكتوز (سكر اللبن) ، و من المهم ذكره أن حليب الأم الكمية الكافية من الغالاكتوز الضروري لنمو الجملة العصبية عند الطفل الرضيع في كل مرحلة من مراحل نموه و حتى عمر السنتين حيث يتم استكمال نمو الجملة العصبية.

D-الفركتوز : سكر الثمار ، و يوجد في عصير الفواكه و العسل و يعد المغذي الأساسي للنطاف حيث يوجد بكثرة في السائل المنوي عند الإنسان .

السكريات الثنائية :

تنشأ من ارتباط جزيئين من أحاديات السكريد .

أهم السكريات الثنائية :

(1) المالتوز (سكر الشعير) Maltose: يتألف من جزيئين من الغلوكوز يربطهما رابط مالتوزي ، كما يعد المالتوز وحدة البناء الرئيسية في النشاء و الغليكوجين، يتحلله بإنزيم مالتاز Maltase.

(2) السليبيوز Cellobiose:

يتألف من جزيئين من الغلوكوز و يعد السليبيوز وحدة البناء الرئيسية في السيللوز ، و يفككه أنزيم سلاز Cellulase.

(3) اللاكتوز (سكر اللبن) Lactose : يوجد في الحليب و يمكن أن يطرح في بول المرأة الحامل أو المرضع ، يفككه أنزيم لاكتاز المفرز من الخلايا المخاطية المعوية.

(4) السكروز (سكر القصب) Sucrose: يوجد في سوق و جذور و ثمار النباتات، يحضر صناعياً من الشوندر و قصب السكر يفككه أنظيم سكراز أو إنفرتاز ، ويعد السكروز من المركبات الضارة جداً و المهيئة للإصابة بالداء السكري و التصلب الشرياني .

(5) التريبالوز (سكر الفطر) Trchalose: يتألف من جزئين من غلوكوز ، يوجد هذا السكر في الفطور و الأبواغ و الأعشاب المائية .

عوز ثنائي السكريداز :

تقرز في العصارة المعوية مجموعة من الأنظيمات التي تفكك ثنائيات السكريد مثل اللاكتوز و السكروز و المالتوز السابقة الذكر ، فإذا حدث نقص أو عوز لهذه الأنظيمات ، فإن هذه السكريات لن تتفكك و حيث أنها لا تمتص فستصل إلى الأمعاء الغليظة و ستتخمر بواسطة الجراثيم منتجة حموضاً عضوية و غازات مما سيؤدي إلى تمدد الأمعاء ، وعن طريق زيادة الحلولية فسيقفل امتصاص الماء ، و يحدث الإسهال التناضحي Osmotic diarrhea.

إن العوز الأكثر شيوعاً هو عوز أنظيم اللاكتاز ، و يحدث إما وراثياً أو لأي أفة تؤثر بشكل واضح على مخاطية الأمعاء الدقيقة ، يبدي الأشخاص المصابون بعوز أنظيم اللاكتاز درجات مختلفة من عدم تحمل تناول الحليب.

السكريات المتعددة:

تدعى أيضاً ب الغليكانات، توجد معظم السكريات في الطبيعة بشكل عديدات سكرية ذات أوزان جزيئية مرتفعة وتؤدي الحلمهة التامة (حمضية أو أنزيمية) لعديدات السكريد إلى أحاديات السكريد أو مشتقاتها، وتختلف عديدات السكريد عن بعضها بنوع الوحدة السكرية الداخلة في تركيبها وبطرائق الارتباط بين الوحدات السكرية، وطول السلاسل المتشكلة ودرجة تفرعها.

(1) النشاء: يتألف من وحدات غلوكوز فقط، ويعد أهم مصدر غذائي للمركبات السكرية، يتوافر في البطاطا والبقول والخضار.

للنشاء نوعان: _ الأميلوز: نسبته (10-15%) وهو سلسلة وحيدة غير متفرعة ملتفة بشكل حلزوني مسؤولة عن إعطاء اللون الأزرق مع اليود، ووحدة البناء الرئيسية فيها هي المالتوز _ الأميلوبكتين: نسبته من 80 إلى 85% ويتألف من سلاسل متفرعة.

(2) الغلوكوجين: يعد الشكل الادخاري للغلوكوز في الحيوانات لذلك يسمى النشاء الحيواني ويتوافر في الكبد والعضلات، كما تشبه بنيته بنية الأميلوبكتين إلا أنه أكثر منه تفرعاً.

(3) السيللوز: هو المكون الرئيس لهيكل النباتات وهو مادة غير منحلة، وهو من أكثر السكريدات الثنائية انتشاراً في الطبيعة كما يشكل في تركيبه سلاسل مستقيمة تربطها روابط هيدروجينية بأعداد كبيرة تكسب السيللوز صلابة.

كما أن السللوز لا يهضم بواسطة الأنظيمات المتواجدة في أمعاء الثدييات بما فيها الإنسان ، كما يوجد في أمعاء المجترات و بعض آكلات الأعشاب عضيات دقيقة جداً يمكنها هضمه جاعلةً من السللوز مصدر رئيس مولد للحرارة.

(4) الإينولين: نشاء يوجد في درنات وجذور نباتات الأضاليا و الهندبة البرية و الأرضي شوكي ، ويتألف من وحدات فركتوز ، وهو على عكس نشاء البطاطا فهو يذوب بسهولة في الماء الساخن.

(5) الكيتين : يدخل في تركيب قشور الحيوانات القشرية و الهيكل الخارجي للحشرات.

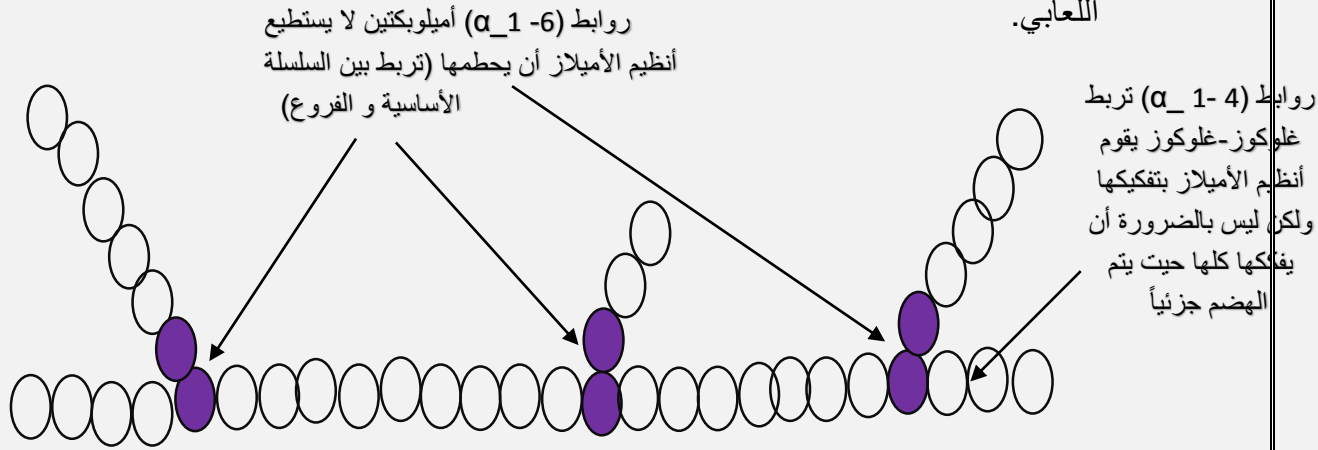
هضم السكرات

إن المواضيع الأساسية في هضم السكرات هي الفم و الخلايا الظهارية لمخاطية الأمعاء .

(أ) إن هضم السكرات يبدأ في الفم :

يمكن أن يكون النشاء القوتي حيواني المنشأ (جليكوجين) أو نباتي المنشأ (أميلاز أو أميلوبكتين).

يعمل أنظيم ألفا أميلاز اللعابي على النشاء الطعامي محطماً الروابط (4 → 1 α). يملك الأميلوز والأميلوبكتين روابط (6 → 1 α) لذلك يكون ناتج الهضم حاوياً على مزيج من المالتوز (سكر ثنائي) (روابط 4 → 1 α) وإيزومالتوز (6 → 1 α) وبعضاً من D-غلوكوز ووحدات صغيرة من النشاء، وتدعى بالدكستريانات النشائية. يتوقف هضم السكرات في المعدة بسبب حموضة المعدة التي تعطل أنظيم الأميلاز اللعابي.



((شكل يوضح توضع الروابط في سكر النشاء))

(ب) _ الهضم التالي يتم بواسطة الأنزيمات البنكرياسية في المعى الدقيق:

عندما تصل السكرات إلى الأمعاء الدقيقة (PH) الحمضي بالعصارات البنكرياسية ويتابع أنزيم ألفا أميلاز البنكرياس حدث الهضم مدركاً شدة النشاء المتبقية إلى سكرات ثنائية كالمالتوز والإيزومالتوز ويكون الهضم جزئياً وينتهي عادةً بالوقت الذي تصل فيه محتويات الأمعاء الوصل العفجي الصائمي.

(ج) _ هضم السكريات بواسطة الأنزيمات المركبة في خلايا الأمعاء :
تحدث عمليات الهضم النهائية على السطح المخاطي للأمعاء و تتضمن فعل أنزيمات
السكريات الثنائية (دي سكريدات) المتنوعة و تفرز هذه الأنزيمات و تبقى مترافقة مع
الحافة الفرغونية للجانب المعوي لاغشية خلايا المخاطية المعدية.
وتتضمن هذه الأنزيمات اللاكتاز و المالتاز و ألفا ديكستريناز و السكراز

DIGESTION OF CARBOHYDRATES

The principal sites of dietary carbohydrate digestion are the mouth and intestinal lumen. This digestion is rapid and is generally completed by the time the stomach contents reach the junction of the duodenum and jejunum. There is little monosaccharide present in diets of mixed animal and plant origin. Therefore, the enzymes needed for degradation of most dietary carbohydrates are primarily disaccharidases and endoglycosidases (that break oligosaccharides and polysaccharides). Hydrolysis of glycosidic bonds is catalyzed by a family of glycosidases that degrade carbohydrates into their reducing sugar components (Figure 7.8). These enzymes are usually specific for the structure and configuration of the glycosyl residue to be removed, as well as for the type of bond to be broken.

A. Digestion of carbohydrates begins in the mouth

The major dietary polysaccharides are of animal (glycogen) and plant origin (starch, composed of amylose and amylopectin). During mastication, salivary α -amylase acts briefly on dietary starch in a random manner, breaking some bonds. [Note: There are both in nature, but humans do not produce and secrete the latter in digestive juices. Therefore, they are unable to digest carbohydrate of plant origin containing glycosidic bonds between glucose residues.] Because branched amylopectin and glycogen also contain bonds, the digest resulting from the action of α -amylase contains a mixture of smaller, branched oligosaccharide molecules (Figure 7.9). Carbohydrate digestion halts temporarily in the stomach, because the high acidity inactivates the salivary α -amylase.

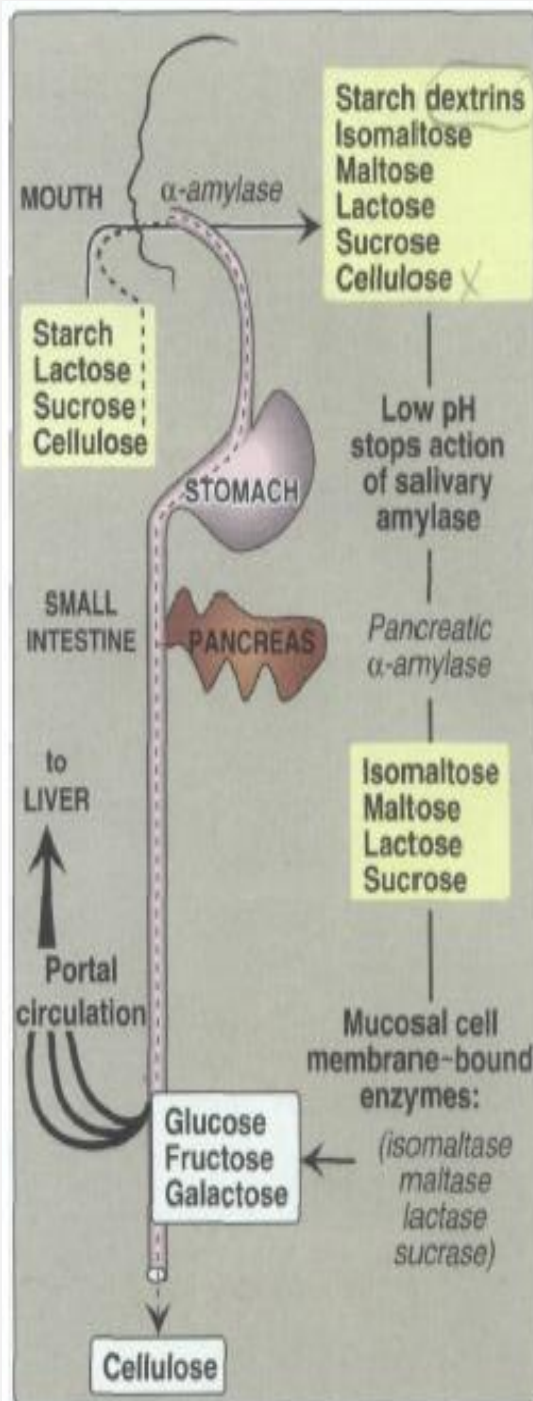


Figure 7.10
Digestion of carbohydrates.

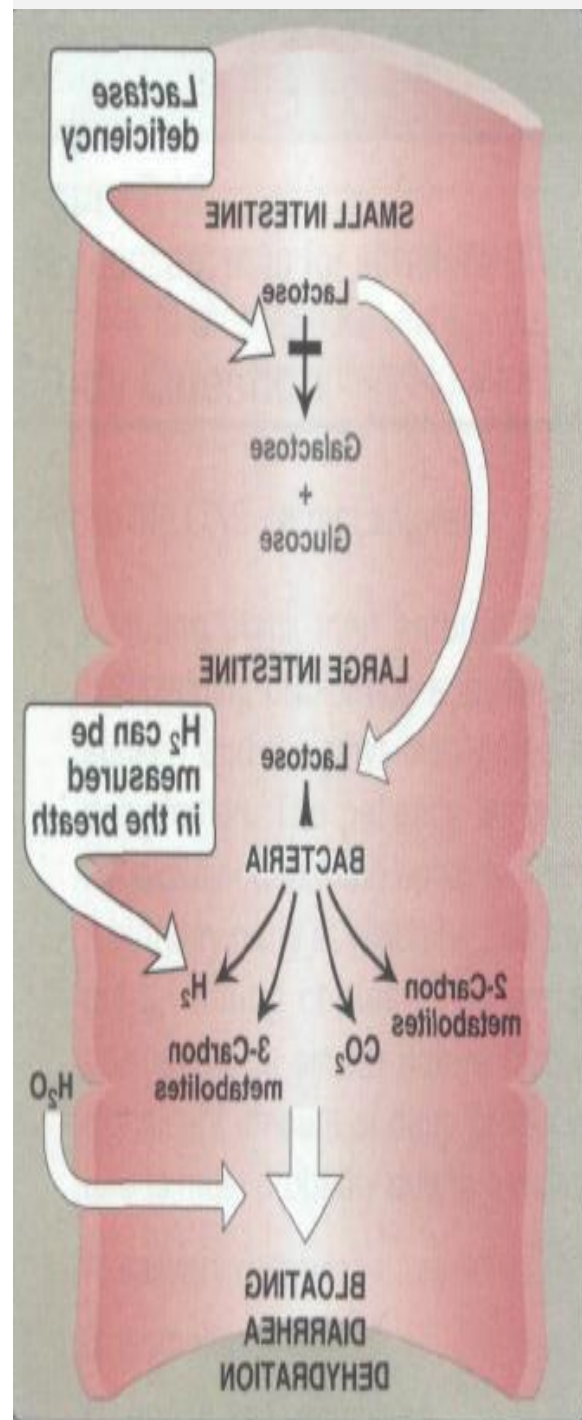


Figure 7.11
Abnormal lactose metabolism.

***** امتصاص السكريات *****

*** امتصاص السكريات الأحادية بواسطة خلايا مخاطية الأمعاء الدقيقة:

لا يستلزم الأنسولين لامتصاص الجلوكوز بواسطة الخلايا المعوية فمثلاً يعبر الغالاكتوز و الجلوكوز من مخاطية الخلايا المعوية بشكل فعال و هذه العملية تتطلب طاقة و بروتين ناقل و Na^+ .

إذا يكون الحدث الإجمالي لهضم و امتصاص السكريات فعالاً في الأشخاص الأصحاء و عادةً تمتص كل السكريات القوتية القابلة للهضم بالوقت الذي تصل فيه المواد المهضومة الباقية أسفل الصائم ، طالما أنه يتم امتصاص معظم السكريات الأحادية فإن أي عيب في فاعلية أنزيمات السكريات في مخاطية الأمعاء سوف يسبب عبور السكريات غير المهضومة إلى المعى الغليظ و هذه المواد الفعالة تتباطئ في المعى الغليظ فتؤدي لانسحاب الماء من النسيج إلى المعى الغليظ مسببة إسهالاً تناضحياً يتعزز ذلك بالاستقلاب الجرثومي للسكريات المتبقية إلى مركبات ثنائية و ثلاثية الكربون إضافة لكميات كبيرة من H_2 و CO_2 و لوحظت الاضطرابات الوراثية لإنزيمات اللاكتاز و السكراز و ألفا ديكستريناز عند الرضع و الأطفال مسببة عدم تحلل السكريات الثنائية. السكر الأساسي الممتص هو الجلوكوز بنسبة 80 – 90 % أما ال 10% الباقية هي فركتوز و غالاكتوز.

استقلاب السكر

الدهم و السكريات و البروتينات وغيرها من مكونات المادة الحية بأبسط أشكالها تمتص و ما يطرأ على هذه المركبات منذ امتصاصها و حتى استفادة العضوية منها هو ما تدرسه . الكيمياء الحيوية BIO CHEMISTRY.

كما سبق و ذكرنا أن السكريات (الجلوكوز) من أهم مصادر الطاقة في الجسم . وهذا ما يثير في ذهننا كيف يتم استقلاب هذه السكريات و ما هي أهم الطرق الاستقلابية التي يسلكها السكر من أجل تزويد الجسم بالطاقة اللازمة لقيامه بوظائفه الحيوية ليتمكن من استمراره على قيد الحياة .

من أهم الطرق الاستقلابية للسكريات :

__ تحلل السكر.

__ حلقة حمض الليمون (حلقة كريبس).

__ سبيل الهكسوز أحادي الفوسفات .

__ استقلاب الفركتوز و الغالاكتوز .

__ استقلاب الغليكوجين .

__ استحداث السكر .

و غيرها من سبل تفاعلية تتعلق بالهدم و البناء تتشابك مع بعضها البعض و أهم هذه التشابكات حلقة كريبس، و التي هدفها هو إنتاج الطاقة أو بناء أنسجة عضوية جديدة .

* في كل سبيل من السبل السابقة يجب أن نعلم أين يحدث؟؟ وما هي النواتج التي تترتب على كل سبيل؟ وما هي أمراض كل سبيل؟
و لكن في هذه الحلقة سنتقصر دراستنا على بعض السبل
السبيل الأول :

تحلل السكر:

هو استقلاب لاهوائي للغلوكوز أي السبيل يبدأ بالغلوكوز و ينتهي بالبيروفات و البعض يعتبرون السبيل ينتهي بالأسيتيل COA لكن إذا أكمل إلى COA نحتاج إلى هواء.....

السبيل حتى تشكيل البيروفات لا يحتاج إلى أوكسجين و حتى أسيتيل COA فإنه يحتاج إلى أوكسجين
الركيزة الأساسية له الغلوكوز و الناتج الرئيسي له هو اللاكتات و البيروفات
يتألف بشكل أساسي من عشر خطوات ، و يحدث دون الحاجة للأوكسجين ، نواتجه تكون بيروفات أو 2 لاكتات ، يستفاد من تحلل السكر في الحصول على 2 من ATP من كل جزيئة غلوكوز ، يحدث هذا التحلل في سيتوزول كل الخلايا وهنا تكمن أهميته
انتقال السكاكر من الدوران الدموي الى الخلية:

السكاكر المأخوذة عن طريق الطعام تتحول إلى غلوكوز أو سكريات أحادية أخرى تحمل عبر الدوران الدموي ليدخل جميع الخلايا كما ان الغلوكوز لا يدخل إلى الخلايا بطريقة عشوائية بل يدخل بواسطة نواقل خاصة تدعى ناقلات الغلوكوز و يرمز لها GLUT – Number و عددها 14 و كل منها متخصص لنقل الغلوكوز إلى خلية من الخلايا و بعض هذه النواقل ينقل

الغلوكوز إلى خلية من الخلايا و بعض منها ينقل الغلوكوز إلى أكثر من نوع من الخلايا فهي خاضعة لعمل الأنسولين (العضلات و النسيج الشحمي بشكل أساسي) و هي غير خاضعة لعمل الأنسولين (بقية الأعضاء و على رأسها مخاطية الأمعاء) حيث لدينا نوعان من النواقل GLUT-1 تدخل الغلوكوز إلى الدماغ أما GLUT-2 يدخله إلى الكبد.

فلو أن هذه النواقل GLUT-1 خاضعة للأنسولين فقط يموت الشخص فوراً لأن الدماغ و الكريات الحمر و الكلية و مخاطية الأمعاء لا تعمل ، كما أن هذا يدلنا على أن هناك ناقلات خاضعة للأنسولين في أنسجة معينة وهذا ما يربط السكري بالبدانة إذ يكون هناك عوز أنسولين فلا يستهلك الغلوكوز و يدخل إلى خلايا الجسم و عندها يتحول الغلوكوز إلى غليسرول (شحوم) حتى الوصول إلى مرحلة تسبب البدانة .

إن أهم ناقلات الغلوكوز أول 5 ناقلات ، قسم منها ينقل الغلوكوز فقط و بعضها ينقل الفركتوز و الغالاكتوز ، الغلوكوز الجائل في الدوران يجب أن يدخل إلى الخلية الدماغية و الخطوة الأولى أنه إذ فور دخول الغلوكوز إلى الخلية ، يتفسفر مباشرةً و هذا التحلل يحدث في جميع الخلايا لأنه يحدث في السيتوزول و كل الخلايا تحوي سيتوزول ، و عند فسفرته لا يمكنه الخروج من الخلية بعدها . كما أن الغلوكوز لا يدخل غشاء الخلية بمفرده و إنما بآلية خاصة مرتبطة بناقلات الغلوكوز.

_ عند نقص الغلوكوز بشكل كبير (تحت مستوى 40) تفعل آلية أخرى بالإضافة لناقلات الغلوكوز الأول و الثاني و هي الآليات الشاردية رغم استهلاكها الكبير للطاقة.

تتم آلية تحلل السكر وفق مراحل متعددة متسلسلة وفق مايلي :

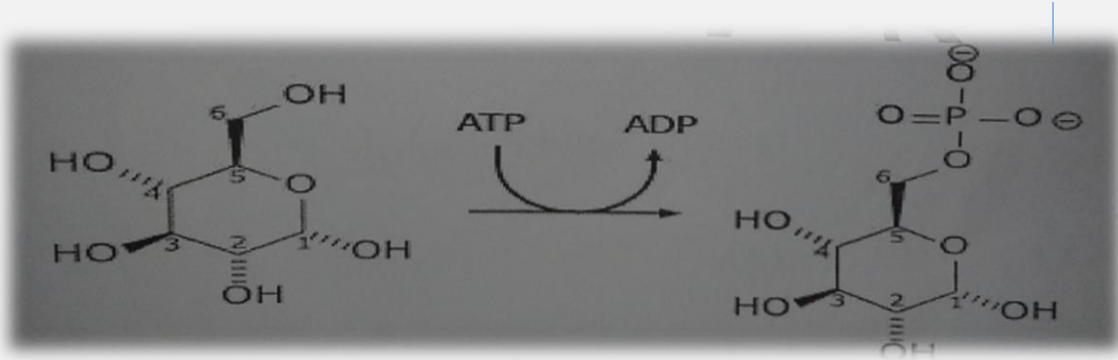
الخطوة الأولى : فسفرة الغلوكوز حيث تتم بوجود خميرة الهسوكيناز (الغلوكوكيناز أحدها و هي خاصة بالغلوكوز فقط) و بوجود الATP التي تأتي من الفسفرة التأكسدية إذ تخرج خارج المتقشرة لتصل إلى السيتوزول .

هذا التفاعل الماص للطاقة يترافق مع تفاعل ناشر للطاقة و التفاعلان هما : تحول ATP إلى ADP (ناشر للطاقة).

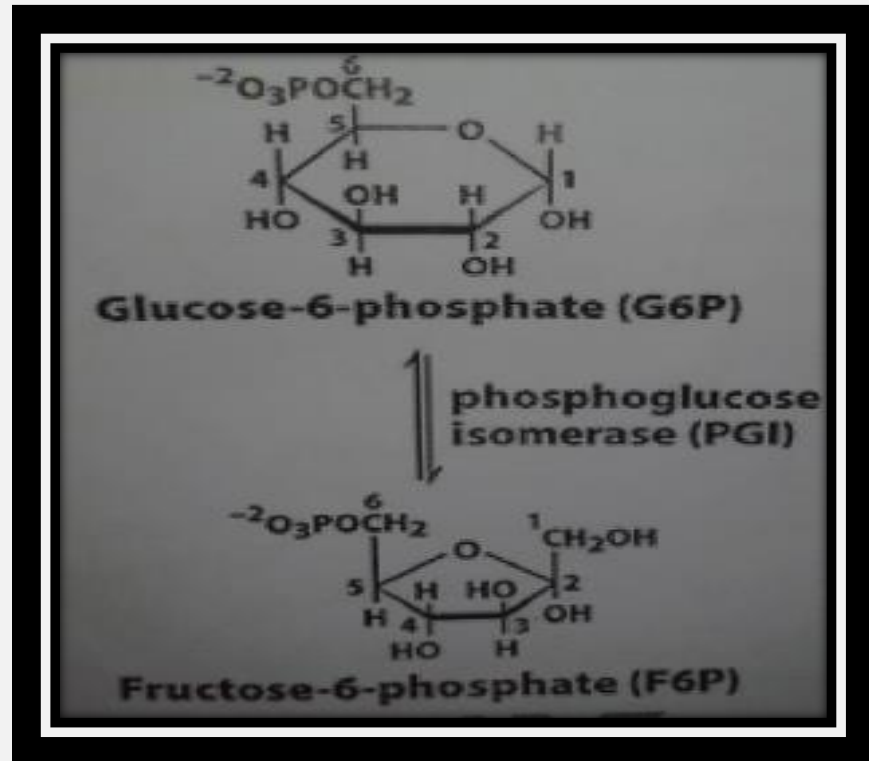
_ الثاني : تحول غلوكوز -6- فوسفات (ماص للطاقة).

تعزير: لشوارد الأمونيوم دور في هذا التفاعل ، حيث تتحد شوارد المغنزيوم مع الأدينوزين ثلاثي الفوسفات لتشكيل معقد وسيط التفاعل لتقي من تأثير الشحنات السالبة على الـATP (Hamburg).

يتم التوضيح بالشكل الآتي :

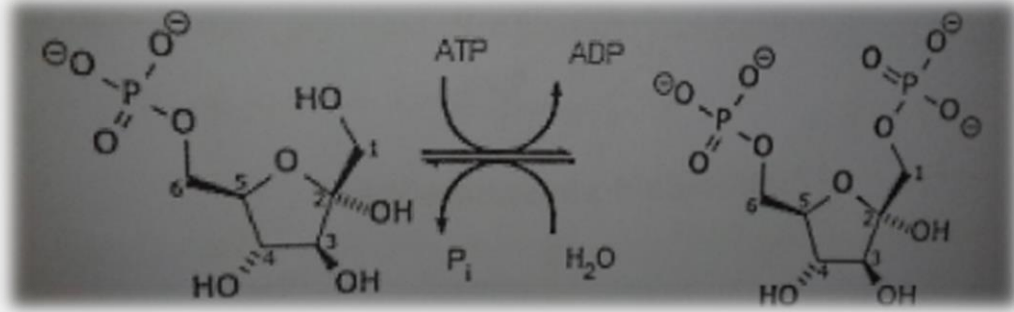


الخطوة الثانية : هو تفاعل مزامرة الغلوكوز -6- فوسفات إلى فركتوز -6- فوسفات ، يتم ذلك باستخدام خميرة خاصة هي فوسفو هكسو إيزوميراز ، كما يوضح بالمعادلة الآتية :



وهو تفاعل عكوس و هو غير ممكن لهذا السبيل، لأن التفاعلات العكوسة لا تميز بين سبيل و آخر، بينما التفاعلات غير العكوسة تميز بين سبيل و آخر .

الخطوة الثالثة : هي فسفرة الفركتوز -6- فوسفات إلى فركتوز -1-6- ثنائي فوسفات ، يتم استهلاك جزيئة واحدة ATP في هذا التفاعل ، و الحصلة النهائية لذلك هو تفاعل ناشر للطاقة . هو تفاعل غير عكوس و هو مميز لهذا السبيل

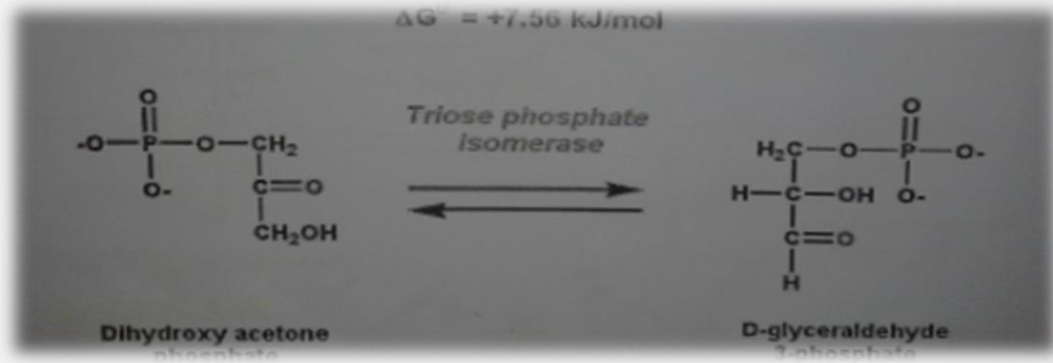


ملحوظة : الغلوكوز-6- فوسفات قد لا يدخل في سبيل تحلل السكر فيستخدم في الخزن على شكل غليكوجين أو يدخل في سبيل آخر ، لا يمكن استخدام فركتوز -6- فوسفات في أي سبيل آخر ، إن احتجنا طاقة يتم متابعة سبيل تحلل السكر ، و عند عدم الحاجة للطاقة لا يستكمل سبيل تحلل السكر .
الخطوة الرابعة : لا يمكن أي سبيل من السبل أن يكون التفاعل العكوس مميزاً له ، التفاعل الرابع هو انشطار الفركتوز -1-6- ثنائي فوسفات إلى _ غليسير ألدهيد -3- فوسفات ، _ ثنائي

هيدروكسي أسيتون فوسفات ، تفاعل الانشطار هنا هو تفاعل ماص للطاقة و يتم بفضل الألدوز B

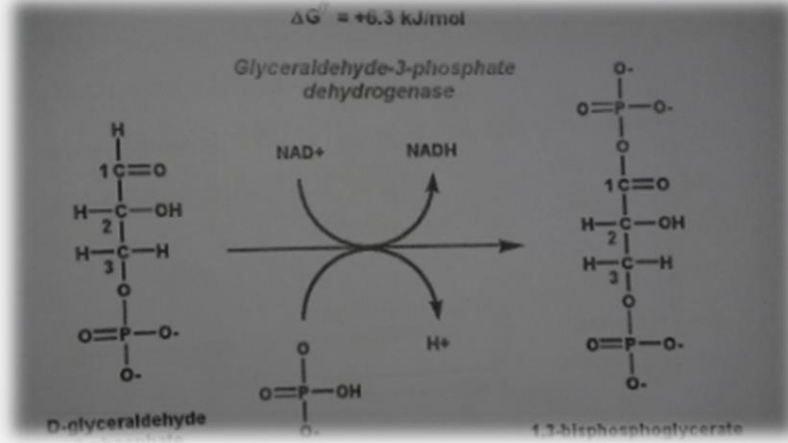
الخطوة الخامسة : تفاعل مزامرة بين المركبين الناتجين عن الانشطار إذ يتحول غالبية ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات إلى غليسير ألدهيد-3- فوسفات و يتابع الغليسير ألدهيد-3- فوسفات السبيل في حين يدخل ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات سبل أخرى أو المكوك ، و يتطلب ذلك ، أنزيم Triose phosphate isomerase كل جزيئة غلوكوز تتألف إذا تتألف من جزيئي ،

غليسير ألدهيد -3- فوسفات ، يتم التوضيح في الصورة الآتية :



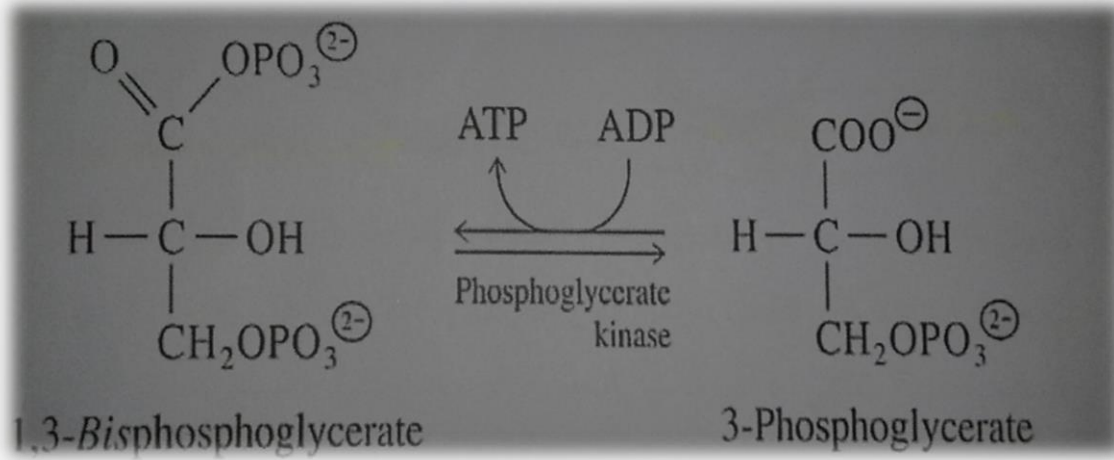
الخطوة السادسة : بوجود خميرة Glyceraldehyde phosphate dehydrogenase انطلاقاً

من الغليسير ألدهيد-3-فوسفات و يتفاعل أكسدة بنزع هيدروجين و فسفرة نحصل على 1-3-ثنائي فوسفو غليسيرات و بمساعدة NAD^+ الموجودة في السيتوزول ، هذا التفاعل الوحيد في سبيل تحلل السكر الذي يتم إنتاج $NADH$ فيه.



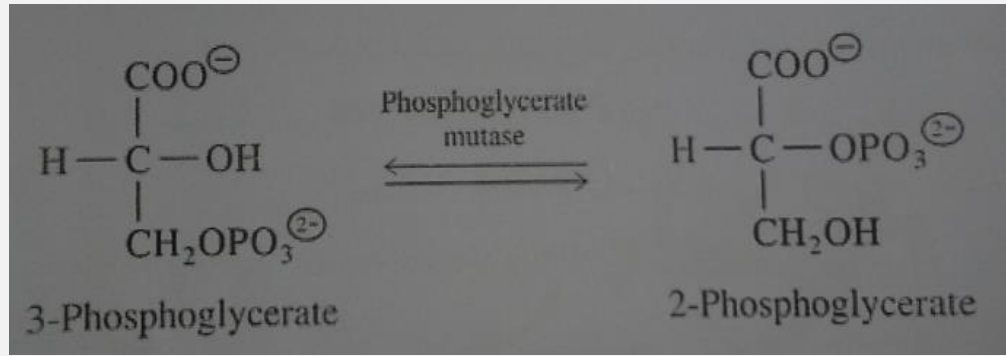
الخطوة السابعة : بوجود خميرة Phosphoglycerate kinase و أدينوزين أحادي فوسفات ،

تتشكل جزيئة من الأدينوزين ثلاثي الفوسفات ، و يتشكل كنتاج حمض 3-فوسفو غليسيريك ، ما يميز هذا التفاعل هو الفسفرة على مستوى الركيزة .

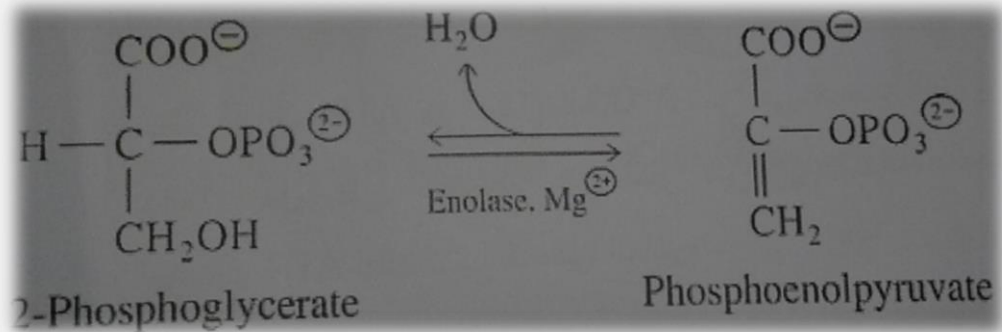


الخطوة الثامنة : بوجود خميرة Phosphoglycerate Mutase، إذ يتم إزاحة زمرة الفوسفات

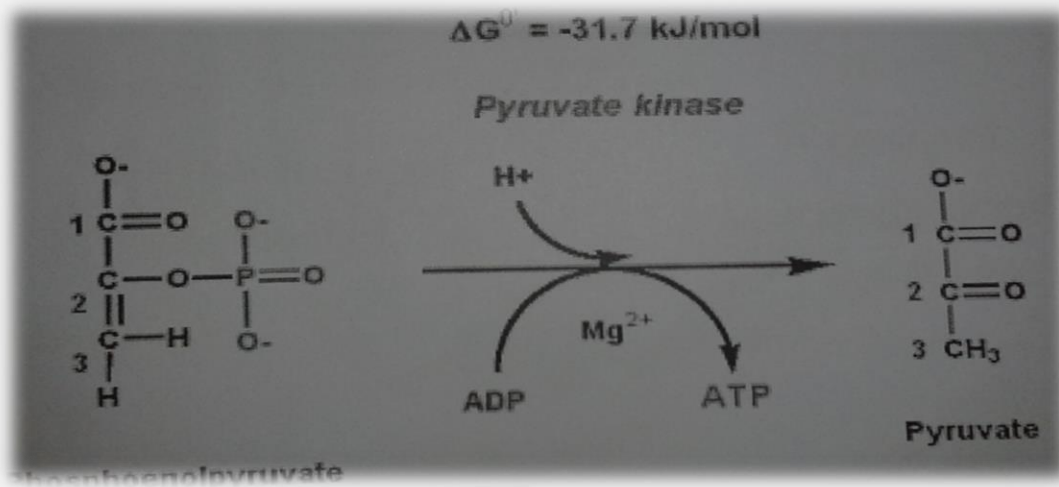
من الموقع 3 إلى الموقع 2 فيتشكل حمض 2-فوسفو غليسيريك و تتم هذه الإزاحة من أجل بعض المتعضيات .



الخطوة التاسعة : يتم بوجود الإنولاز ، و يتشكل كنتاج Phosphoenolpyruvate و هذا المركب الناتج من المركبات الطاقية العالية ، و يمكن للعضوية التوقف هنا و استخدام هذا المركب كخازن للطاقة .



الخطوة العاشرة : بوجود خميرة Pyruvate kinase و بوجود و شوارد كالصوديوم و البوتاسيوم يتم نزع فسفرة المركب الناتج عن الخطوة 9 فتنتج البيروفات (حمض البيروفيك).



تحلل السكر و ما يتضمن البحث عنه من Lippincott

ملاحظة :: لماذا لا تقف العضوية عند الفوسفو إينول بيروفات رغم كونه مركب عالي الطاقة ؟
كما نعلم أن الـATP هو حامل الطاقة الرئيس في العضوية و إن العضوية دائماً تعمل على الحصول

على أكبر قدر من الطاقة بالحصول على جزيئاتATP لذلك تتابع الخطوة 10

التفاعل الأخير هو تفاعل غير عكوس و يتم فيه فسفرة على مستوى الركيزة ، البيروفات تكون غير مستقرة و بالتالي تتحول إلى حمض البيروفيك ، الخطوة الأخيرة هي تشكل البيروفات ، كل ما تحدثنا به يحث لاهوائي ، كل الخلايا غير الحاوية على مقدرات تسلك هذا السبيل ، و التفاعلات العكوسة في هذا السبيل هي الخطوات 1 و 3 و 10 .

كيف يتحول هذا السبيل من تحلل إلى استحداث ؟

الأعضاء التي تحوي على الأنزيمات القادرة على إنجاز تفاعلات معكوسة للخطوات 1 و 3 و 10 نحصل على سبيل استحداث السكر .

إن الجلوكوز -6- فوسفات هام جداً في سبيل تشكل الغليكوجين ، إن عدم بذل الجهد العقلي و الجسدي يتحول الجلوكوز -6- فوسفات من هذا السبيل إلى غليكوجين ، البيروفات التي يزودنا بها سبيل التي تحلل السكر يساعدنا بتشكيلCOA تدخل حلقة كريبس ، كما أن البيروفات قد تتحول إلى مركبات أخرى كالأوكسالوأسيتات .

1-3-ثنائي فوسفو غليسيرات قد تتحول إلى 2-3-فوسفو غليسيرات التي لها أهمية كبيرة جداً للكريات الحمراء للتزويد بالأوكسجين .

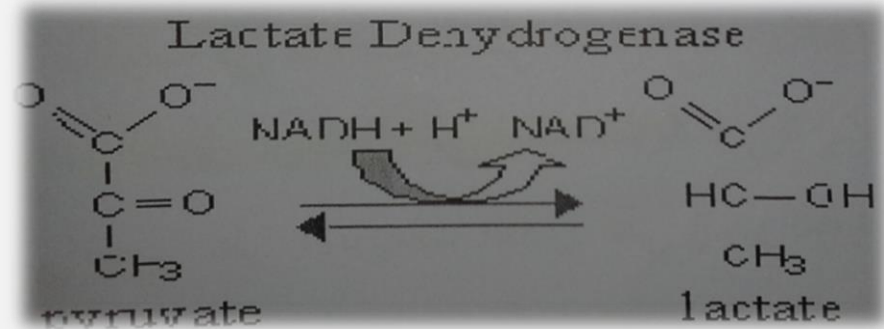
ما مصير البيروفات المتشكلة في هذا السبيل ؟

إن البيروفات تتحول إلى أشكال هي:

أولاً : قد تتحول إلى أستيل COA التي تدخل حلقة كريبس لتعطي ثاني أكسيد الكربون و ماء .

ثانياً : البيروفات تتحول إلى لاكتات في الحالات اللاهوائية عند التمارين العضلية الشديدة و ذلك بوجود اللاكتات دي هيدروجيناز و تستخدم هنا NADH الناتجة عن سبيل تحلل السكر إذ يعاد أكسدة

NADH إلى NAD⁺. يتوضح هذا التفاعل بالصورة الآتية:



ثالثاً : التخمر إلى إيثانول و ثاني أوكسيد كربون كما في الجراثيم (لا يحدث ذلك عند الإنسان) .

كيف يتم تنظيم تحلل السكر؟

ايتم ذلك اعتماداً على التفاعلات غير العكوسة و اعتماداً على 3 أنزيمات مهمة هي (الهكسوكيناز، الغلوكوكيناز) (بيروفات كيناز) (فوسفوفركتوكيناز1) و هذه الأنزيمات هي المسؤولة عن التفاعلات الغير عكوسة في السبيل .

ما أهمية هذه الأنزيمات ؟

الهكسوكيناز : تنتبط بالناتج (الغلوكوز-6-فوسفات) إما عن طريق تثبيط المركز الفعال أو نتيجة تفاعل تحسسي عند الموقع الأنزيمي .

_ هذا الأنزيم يفسفر الغلوكوز و بعض الهكسوزات الأخرى و منعها من الخروج خارج الخلية .

أهم أشكاله : الغلوكوكيناز الموجود في الكبد و خلايا بيتا في جزر لانغرهانس ، الغلوكوكيناز تتصف بأنها ذات ثابتة ميكاليس عالية بالنسبة للغلوكوز و هذا يعني أنها ذات ألفة منخفضة .

الغلوكوكيناز لا تعمل إلا بالمستويات العالية من الغلوكوز ، بعد تناول الطعام تعمل الغلوكوكيناز و ليس الهكسوكيناز إذ تخفض الغلوكوز .

الأنسجة لا تموت إن كان السكر عال و إنما عند الانخفاض في السكر و من أهم الأنسجة المتأذية الدماغ و ينتج عن ذلك أذية دماغية .

الهكسوكيناز تعمل بالمقادير المنخفضة و ليس لها دور في ضبط تركيز سكر الدم ، الغلوكوكيناز لها دور في ضبط تركيز سكر الدم و سويته، عوز الهكسوكيناز يؤثر على نسيج الدماغ أما عوز الغلوكوكيناز يؤثر على مستوى تركيز سكر الدم و ضبطه .

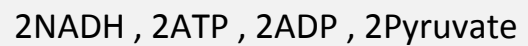
الهكسوكيناز تفسفر الغلوكوز و الفركتوز و الغلاكتوز أما الغلوكوكيناز تفسفر الغلوكوز فقط .

الغلوكوكيناز موجود في الكبد (أهميتها في الكبد لتحويل الغلوكوز إلى غليكوجين أو شحم) و خلايا بيتا في جزر لانغرهانس (ضرورة وجودها في البنكرياس كمشعر على أن تركيز السكر عال) في البنكرياس بتركيز عالية على عكس الهكسوكيناز فمنخفضة و الألفة تكون عكسية لارتفاع الثابتة .

تنتبط الهكسوكيناز بزيادة الفركتوز -6- فوسفات بينما تنتبط الغلوكوكيناز بالغلوكوز -6- فوسفات.

سرعة التفاعل بالغلوكوكيناز سريعة و يعمل على خفض تركيز السكر بسرعة، أما الهكسوكيناز فتكون سرعة التفاعل بطيئة لأن كل نسيج يستخدم السكر الذي يحتاجه فلا سرعة عالية .

ينتج عن سبيل تحلل السكر اللاهوائي:



و يدخل في السبيل: الغلوكوز ، NAD^+ ، 2ATP .

أما في حال كانت الخلية تحتوي على متقدرات أي قادرة على القيام بالتنفس الخلوي (السلسلة التنفسية):

فإن الـ NADH الناتجة عن السبيل تدخل في السلسلة التنفسية لإنتاج الأدينوزين ثلاثي الفوسفات

حيث ان كل جزيئة من NADH تعطي 3 أو 2.5 جزيئات من ATP

وبذلك يكون الناتج النهائي من الـ ATP:

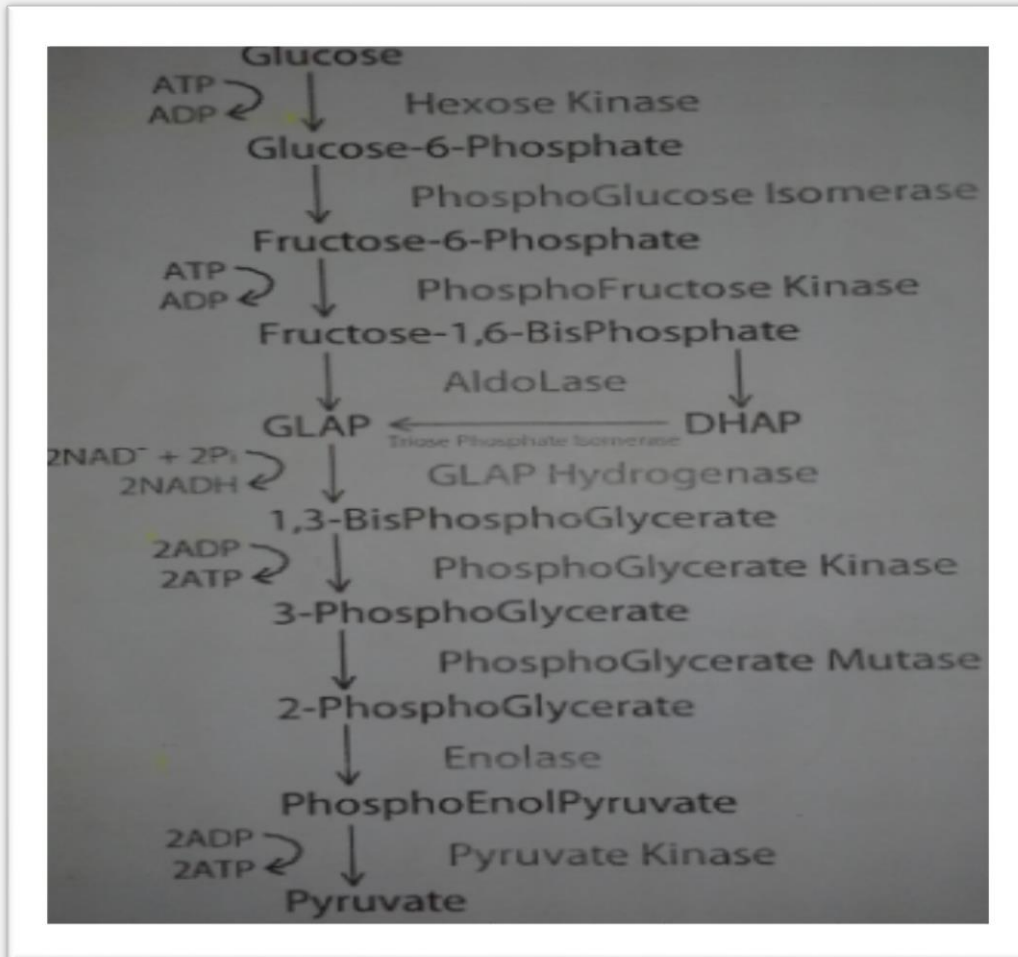
$$2\text{ATP} + 2(3\text{ATP}) = 8\text{ATP}$$

لاكتات لاكتات دي هيدروجيناز كما في RBC

Ethanol ← PYRUVATE → Oxaloacetate

↓
Acetyl CoA

مخطط تفصيلي يوضح مراحل آلية تحلل السكر



أنزيمات تدخل في تحلل السكر :⁽¹⁾

Phosphofructokinase: هو الأنزيم المحدد لسرعة تحلل السكر ومنصفاته أنه خاضع للتحريض أي لا يعمل كما يشاء، وهذا التحريض له علاقة بحادثتي الجوع والشبع وهو محرض بمحتوى الجسم من الطاقة.

ينقسم هذا الأنزيم إلى PFK-1 و PFK-2 حيث تعمل الأولى على الفركتوز -6-فوسفات ليشكل الفركتوز -6-1-ثنائي الفوسفات أما الثانية يشكل الفركتوز -6-2-ثنائي الفوسفات أي الركيزة ذاتها والتفاعل مختلف.

إن هذا الأنزيم يزيد بحالة زيادة تراكيز الأدينوزين أحادي الفوسفات الحلقي AMP^c أي أن الجسم يحوي القليل من الطاقة وهذه الطاقة تتأمن من خلال تحلل السكر. الأنزيم السابق يتثبط بالأدينوزين ثلاثي الفوسفات والسترات أي الجسم يحوي طاقة عالية وكافية وهو ليس بحاجة لتحلل السكر. يتفعل الأنزيم السابق من خلال -6-2-ثنائي فوسفات فركتوز الذي يعد مشعراً من المشعرات الدالة على مخزون طاقي منخفض.

كما أن PFK-1 يتثبط بوجود ATP والسيترات أما ال PFK-2 له علاقة بحالتي الجوع والشبع على اعتبار أن الفركتوز -6-2-¹ ثنائي الفوسفات هو مشعر دال على طاقة قليلة . في حالة الجوع يتعرض تثبيط عمل الأنزيم PFK-2 بسبب انخفاض الأنسولين و ارتفاع الغلوكاكون أما في حالة الشبع يتعرض عمل PFK-2 بسبب انخفاض الغلوكاكون و ارتفاع الأنسولين و هذا يؤدي بدوره إلى زيادة تحلل السكر .

الأنزيم الآخر الهام في تحلل السكر هو ال Pyruvate Kinase الذي يتثبط بوجود الأدينوزين ثلاثي الفوسفات الذي يدل على مخزون طاقة مرتفع و ينتشط نتيجة وجود fructose-1.6-biphosphate الآن سوف نتحدث عن بعض الاضطرابات السريرية خاصة بسبيل تحلل السكر :
أولاً : عوز Pyruvate Kinase: أهم اضطراب سريري لأن الأكثر شيوعاً لسبيل تحلل السكر و

¹ Lippincott 3rd Edition

يؤدي إلى فقر دم انحلالي لأن هذا العوز يؤدي على عدم حصول كريات الدم الحمراء على الطاقة اللازمة لاستمرار حياتها² وهذا يؤدي إلى تغير شكلها مما يجعلها لقمة سائغة للبالعات في الجهاز الشبكي البطاني مما يؤدي إلى قصر عمرها لأقل من 120 يوماً .

إن عوز Aldose B هو أقل شيوعاً و يؤدي إلى خلل في مسلك تحلل السكر و خاصة في الأعضاء المعتمدة عليه و يتظاهر بفقر الدم الانحلالي .

ثانياً: عوز ال Phosphofructokinase العضلي : يحدث هذا العوز عند بذل جهد أكبر من الطاقة التي نحصل عليها من السكر و هذا أكثر ما يحدث عند الأشخاص المعتمدين في غذائهم على السكريات و الباذلين لجهد كبير جداً .

ما هو دور ال NADH في تحلل السكر ؟

المصدر الأساسي له هو أكسدة الغليسير ألدهيد -3- فوسفات إلى 1-3 ثنائي فوسفات غليسيرات -و هو يدخل إلى المتقدرات من السيتوزول عن طريق الغليسير ألدهيد-3- فوسفات أو عن طريق و مكوك المالتات -أسبارات ، تخزن الطاقة في سبيل تحلل السكر على شكل NADH ليس ATP علماً أن الطاقة تنتج بشكل ATP و تخزينها هو المختلف .

بوجود اللاكتات ديهيدروجيناز يتم تحويل اللاكتات إلى بيروفات بوجود NADH تحلل السكر هو

لا هوائي لتحلل الجلوكوز أما إن توافر هواء فإن جميع NADH تتحول إلى ATP

مكوك المالتات يحدث في الكبد و الكلية و القلب كما ذكرنا سابقاً أما مكوك الغليسيرول فوسفات يحدث في العضلات الهيكلية و الدماغ.

هوائياً فإن nadh تسبب تشكل الأدينوزين ثلاثي الفوسفات حسب العضو الذي يحدث فيه التحلل و حسب طريقة الدخول ، الأعضاء جميعها تستطيع القيام بسبيل تحلل السكر لا هوائياً و المتعضيات التي تسلك السبيل الهوائي هي التي تحوي متقدرات ،

الأعضاء التالية (كريات الدم الحمراء ، العدسة في العين ، فرنية العين ، الكلية ، البصلة ، الخصى ، كريات الدم البيضاء) تستفيد من تحلل السكر اللاهوائي و ليس الهوائي و أهمها كريات الدم الحمراء، فهي أبسط خلايا الجسم و لا تحوي بنى تحت خلوية و لا حموض نووية و لا تحوي العوامل الصانعة للبروتينات و لا تحوي متقدرات و لا تقوم بعملية فسفرة تأكسدية و تعتمد بشكل نطلق في وقودها على الجلوكوز .

الجلوكوز يأتي عن طريق الدوران بشكل أساسي و هي تستثمر الطاقة الناتجة عن تحلل السكر و و بشكل ATP والناتج النهائي لسبيل تحلل السكر فيها هو اللاكتات و ليس البيروفات .

كيف يتم سبيل 3-2-ثنائي غليسير الفوسفات في كريات الدم الحمراء ؟

يقوم حمض 3-غليسير الفوسفات بأكسدته إلى 1-3-ثنائي غليسير الفوسفات و قسم منه لا يسلك سبيل تحلل السكر في كريات الدم الحمراء ، نظراً لوجود خميرة ختصة في كريات الدم الحمراء تدعى ثنائي غليسير فوسفات موتاز تحول 1-3-ثنائي غليسير فوسفات إلى 2-3-ثنائي غليسير الفوسفات الذي يعد وسيطاً بين المركبين السابقين و هو الذي يرتبط بهيموغلوبين كرية الدم الحمراء بالسلاسل بيتا و تصبح كرية الدم الحمراء أقل ألفة للارتباط بالأوكسجين و ويمكن أن تتخلى عن اوكسجينها بسهولة عندها في الأنسجة المحتاجة للأوكسجين و هذا الأمر لا يحدث عند الجنين لأن الجنين لا يحتوي على سلاسل بيتا مثل غاما .

إذاً كرية الدم الحمراء حاوية على ثنائي غليسير فوسفات موتاز الذي يحول قسم من 1-3-ثنائي غليسير فوسفات الموجود بكمية كبيرة إلى 2-3-ثنائي غليسير فوسفات ،

أهمية هذه السبل لا تكمن في الطاقة فقط و إنما لها فوائد أخرى مثل تشكيل 2-3-ثنائي غليسير فوسفات الذي له دور هام في ألفة الكريات للأوكسجين ، أي أن كمية 2-3-ثنائي غليسير فوسفات الموجود في كريات الدم الحمراء عند الإنسان تعادل حوالي 5 ميكرومول /ل عند البالغين أما عند الجنين فهذه الكمية غير موجودة.

تحلل السكر الهوائي اللاهوائي ينتهي بتشكيل حمض البيروفيك الذي يتحول ، بعض الناس يعتبرون التحول جزء من حلقة كريبس و بعضهم يعتبرونه جزءاً من تحلل السكر ، لكن في الحقيقة هي مرحلة وسيطة بينهما .

كل حمض البيروفيك الناجم عن تحلل السكر يتحول إلى ACETYL-COA و هذه الخطوة ليست من

تحلل السكر و هذا التحول يحدث في الميتوكوندريا و بوجود أنزيم هام جداً وهو معقد PDH

لأنه يحوي 3 أنزيمات و له مرافقات أيضاً ، و هو مهم جداً في الكيمياء الحيوية ، و عوز هذا و المعقد يمنع تشكل Acetyl-COA وبالتالي تراكم البيروفات الذي يتحول إلى أوكسالوأسيتات

لإعطاء بروتينات و غير ذلك ، أي خلل في المرافقات الأنزيمية السابقة يؤدي إلى شلل ، و يوصف فيتامين B2 دوماً في حالات خلل السكري لأن تلك الفيتامينات حاوية على كل المرافقات الأنزيمية

للمعقد و هذه الفيتامينات ه التي لها علاقة بزيادة فعالية الأنزيمات العاملة في سبيل تحلل السكر و التي أساسها هو البيروفات هيدروجيناز .

هذا الأنزيم الهام يؤدي إلى إنتاج ثنائي أوكسيد الكربون و NADH و تنظيم هذا التفاعل يخضع

لشكليين : 1- تثبيط عن طريق الناتج (زيادة Acetyl-COA، تؤدي إلى تثبيط هذا التفاعل).

2- تحول ما بين الشكلين PDH الفعال و غير الفعال .

يتفعل هذا السبيل بوجود: PYRUVATE – COA- NAD+

يتنشط هذا السبيل بوجود: NADH, Acetyl-COA, ATP

تحول البيروفات إلى ACETYL-COA هو تفاعل غير عكوس يتم بوجود PDH يؤدي لتشكل NADH, CO₂ ويعتمد تنظيمه على شكلين .

PDH يكون فعالاً عندما يكون غير مفسفر و الشكل الثاني غير الفعال هو الشكل المفسفر و هذا يخضع بشكل أساسي لعمل الكيناز أو الفوسفاتاز .

التحول من الشكل الفعال إلى الشكل غير الفعال يخضع لبروتين هو البروتين المعتمد على الكيناز أو المعتمد على الفوسفاتاز و هذا البروتين بدوره خاضع أيضاً للأدينوزين ثنائي الفوسفات الحلقي .

عند وجود مخزون طاقي جيد في العضوية (NADH , ATP , ACETYL-COA , Citrate)

و عندها يكون PDH غير الفعال هو الأكثر ، أما عندما توجد (ADP , NAD⁺, COA)

بكميات كبيرة فعندها ال PDH الفعال يوجد بشكل أكبر ، يخضع عمل الأنزيم إذاً للمخازن الطاقية و بوجود أو عدم وجود شوارد معينة كالمغنزيوم و الكالسيوم كما أنها خاضعة لعمل الأنسولسن كما في النسيج الشحمي .

Acetyl-COA مصدره هو حمض البيروفيك (أي تحلل السكر) يتحكم به معقد PDH ببيروفات دي هيدروجيناز .

عوز ال PDH بسبب طفرات معينة (عدم وجود تعبير مورثة لنسخ هذا الأنزيم): هو الشكل الأكثر شيوعاً للحمض اللبني الذي يحدث عند الولادة ، إذ أن كثير من الأطفال لا يبدو أنهم يملكون أي مشكلة ، يموتون خلال 24 ساعة بعد الولادة و يقولون الموت غير مفسر .

أهم أسباب موت الولادة الاضطرابات الاستقلابية التي تحدث و أهمها داء عوز PDH

تتم الوقاية بعدم إعطاء الولادة سكاكر أو حلويات عند ولادته و إخضاعه لحمية عالية الدسم و تغذيته بشكل أساسي على الدسم و البروتين و إلغاء السكريات .

داء العوز السابق مرتبط بالصبغي X، الدماغ و كونه يعتمد بشكل أساسي على السكر تكون نسبة ذكائهم متدنية ، و هذا العوز خلقي و غير مكتسب .

ما أهم الأسباب المؤدية إلى عوز المرافقات الأنزيمية للمعقد PDH

أهم تلك الأسباب هو الانسمام بالزرنيخ يؤدي إلى شلل أو خلل يوقف عمل PDH إذ يؤدي إلى خلل في الحمض الشحمي المرافق ل PDH مما يمنع المعقد الأنزيمي من القيام بعمله ،

عندما تكون كمية الزرنيخ كبيرة يحدث اضطراب استقلابي إذ يتأذى القلب و الكبد و الكلية ، هناك سبل بديلة للخلايا في الكبد و الكلية أما القلب فلا توجد سبل لتأمين وقود هام لعمل العضلة القلبية .
الكحولية المزمنة :

اضطراب مكتسب إذ يحدث عند المصابين عوز الThyamine Pyrophosphate وبالتالي يحدث خلل في عمل الPDH، كل أنواع المواد السامة غير الزرنيخ تسبب أيضاً خلل في عمل المعقد

THE CITRIC ACID CYCLE (KREB 'S CYCLE)

1900 - 1980 HANS KREB

لا بد من سبيل استقلابي آخر في الأعضاء الحاوية على المتقدرات يدعم سبيل تحلل السكر و هذا السبيل هو حلقة كريبس ، علماً أن سبيل تحلل السكر أساسي بالنسبة للكريات الحمراء .
(العجلة تدور و السكر يحترق) إذ أن المصدر الأساسي للطاقة هو السكر و قد سميت الحلقة في البداية بالحلقة ثلاثية الكربوكسيل لاحتوائها على 3 أحماض كربوكسيلية ثم سميت فيما بعد بحلقة كريبس (نسبة لاسم العلم المكتشف) و ناتج هذه الحلقة H_2O , CO_2 .

تعد هذه الحلقة مصدر للطاقة و وظائف أخرى أيضاً ، و الحلقة تعد السبيل المشترك بين عمليات الهدم و البناء لجميع المركبات ، الخلل في هذه الحلقة الذي يعود إلى خلل تشكل الأنزيمات المشكلة للحلقة يسبب الخلل الاستقلابي الرئيسي في الجسم .

إن الغلوكوز يعد وقود لسبيل تحلل السكر أما Acetyl coA أيضاً هو وقود لحلقة كريبس و ينتج عن البيروفيك في سبيل تحلل السكر الذي يدخل إلى داخل المتقدرة من خلال ناقل لحمض البيروفيك حيث تتم أكسدته بعدها بواسطة Pyruvate Dehydrogenase إلى Acetyl coA و تبدأ هذه الحلقة بتكثف الOXALOACETATE مع ACETYL coA.

سبب كون PDH معقد أنزيمي هو أنه يحتوي على 3 انزيمات هي :

E₁: Pyruvate Dehydrogenase

E₂: Dihydrolipoyl trasacetylase

E₃: Dihydrolipoyl Dehydrogenase

³ حلقة كريبس و ما تضمنه من مرجع Lippincott

و يتكون كل منها من سلاسل ببتيدية عددها E_1 هو 12 و عددها ل E_2 هو 60 أما عددها ل E_3 هو 6.

الوقود الأساسي إذاً هو Acetyl coA وهو من المركبات غير الفوسفاتية عالية الطاقة .
الهدف الأساسي من حلقة كريبس إذاً هو الحصول على الطاقة على شكل مكافئات مرجعة أو أدينوزين ثلاثي الفوسفات .
أي خلل أو عوز في أحد مركبات حلقة كريبس يؤدي بالضرورة إلى خلل و اضطراب خطير في الجسم (من المخاطر هو قلة Acetyl coA رغم وجود حلقة كريبس طبيعية و ذلك بعد اضطراباً متعلقاً بالحلقة).

التفاعل الأول في حلقة كريبس :

يتكثف Acetyl coA مع Oxaloacetate بوجود Citrate Synthase ليتم تشكيل Citrate مع coA-SH.

ال Citrate هو حمض ثلاثي الكربوكسيل.

جميع التفاعلات في الخطوات الثلاثة الأولى من حلقة كريبس هي تفاعلات ضم ونزع ماء.
هذا التفاعل غير عكوس وهو ناشر للطاقة

التفاعل الثاني من حلقة كريبس :

يتحول ال Citrate إلى Cis-Aconitate بنزع ماء ثم تتم بعدها عملية إضافة ماء ليتشكل IsoCitrate و ذلك تدعى بواسطة Aconitase و المركبات الثلاثة السابقة ثلاثية الكربوكسيل لذلك تدعى حلقة كريبس بالحلقة ثلاثية الكربوكسيل ، و هذا التفاعل ماص للحرارة و عكوس .
عند تشكل ال Citrate لا مجال للعودة و على العضوية استخدام السيترات أو تخزينها أما باقي التفاعلات فهي عكوسة جميعها .

التفاعل الثالث من حلقة كريبس :

isoCitrate و بواسطة Isocitrate dehydrogenase يتحول إلى a-Ketoglutarate
هذا التفاعل هو التفاعل الأول الذي ينتج عنه NADH كذلك هو التفاعل الأول الذي ينتج عنه CO_2 و هذا التفاعل غير عكوس .

التفاعل الرابع من حلقة كريبس :

a-Ketoglutarate و بوجود خميرة a-Ketoglutarate dehydrogenase complex

الشبيه بPDH يتحول إلى Succinyl-coA، يتم إنتاج الطاقة من ال NADH و الجزئية

الثانية من CO₂ في هذه المرحلة ، و هذا التفاعل غير عكوس .

إن المحدد لسرعة هذا التفاعل هو التفاعلات غير العكوسة مجمعة أو واحد منها.

التفاعل الخامس من حلقة كريبس :

يتابع Succinyl-CoA Synthase بواسطة Succinyl-CoA لتشكيل ال Succinyl

هذا التفاعل هو التفاعل الوحيد على مستوى الركيزة هنا دون الحاجة إلى فسفرة تأكسدية ، يتشكل في هذا التفاعل ال GTP انطلاقاً من GDP.

التفاعل السادس من حلقة كريبس :

تتشكل الفورمات و ال Succinyl بواسطة Succinyl dehydrogenase تتأكسد بنزع

الهيدروجين إلى Fumarate و يتشكل هنا FADH₂ و هب الوحيدة المتشكلة في حلقة كريبس .

التفاعل السابع من حلقة كريبس :

ال Fumerate و بالإمالة بوجود Fumarase يشكل ال Malate التي تكمل حلقة كريبس أو

تتوقف الحلقة هنا بعد تشكيل طاقة على شكل FADH₂, NADH, GTP.

التفاعل الثامن من حلقة كريبس :

تتحول ال Maltate إلى Oxaloacetate بواسطة ال Maltate dehydrogenase

حيث يتشكل هنا ال NADH الثالثة و لتعود الحلقة من جديد .

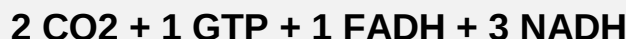
الثابت في حلقة كريبس هو Oxaloacetate أما المتغير هو Acetyl coA

نواتج حلقة كريبس :

3NADH, 1 FADH₂ , 1GTP

التفاعل الإجمالي لحلقة كريبس ركيزته: Acetyl coA و Oxaloacetate

النواتج :



عدد جزيئات ATP الناتجة عن حلقة كريبس = 10 أو 12 جزيئات وذلك هو حصيل الطاقة في حلقة كريبس ، ليست الفائدة فقط هي الحصول على الطاقة ، إذ أن هناك مركبات في حلقة كريبس تفيد في إنتاج مركبات عديدة هامة تدخل في وظائف هامة جداً .
الحصيلة الطاقية من حلقة كريبس هي كبيرة جداً إذا ما قورنت تجاه تحلل السكر .

مركبات الحلقة تعد مصدر أساسي من مصادر البناء كالسكر و الدسم و غيرها ، فال Citrate هامة جداً لاصطناع الحموض الدسمة و الستيرويدات ، و ال a- Ketoglutarate هامة جداً لتشكيل ال Glutamate الهام لاصطناع الحموض أمينية و على رأسها الغلوماتين و حموض أمينية أخرى بتفاعلات نزع الأمين .

كما أن Succinyl coA هامة جداً لاصطناع البرورفيرينات و الهيم و الكلوروفيل .
ال Oxaloacetate هامة كطليعة لاصطناع ال Aspartate و من ثم هامة لاصطناع أحماض أمينية أخرى إضافة إلى ال Purines Pyrimidines و بالتالي : حلقة كريبس هامة جداً في الاصطناع الحيوي إضافة إلى اصطناع الطاقة .

لا يتم إنتاج CO₂ في سبيل تحلل السكر بينما يتم إنتاج 2 من ثاني أوكسيد الكربون في حلقة كريبس
سبيل تحلل السكر يتم في السيتوزول (لا هوائي) ، حلقة كريبس تتم في الميتوكوندريا (مقدرات)

أنزيمات تحلل السكر بغالبيتها هي أنزيمات إمهاء أما أنزيمات حلقة كريبس بغالبيتها نازعة للهيدروجين ، في حلقة كريبس الطاقة المنتجة تكون على شكل NADH, FADH₂

في تحلل السكر الطاقة المنتجة تكون على شكل NADH

، بعض العلماء يعتقد أن حلقة كريبس تبدأ من وقت دخول حمض البيروفيك إلى الميتوكوندريا ، بينما هي في كل مراجع الكيمياء الحيوية تبدأ من ال Acetyl coA .

الركيزة في سبيل تحلل السكر هي الجلوكوز أما في سبيل حلقة كريبس Acetyl CoA

في حلقة كريبس : يوجد تفاعل واحد فسفرة على مستوى الركيزة + 3NADH + 1FADH

12 جزيء ATP نحصل عليه من حلقة كريبس وحدها و يصبح 15 في حال احتبسنا ال NADH

التي نحصل عليها من تحول البيروفات إلى AcetylCoA

كل جزيئة غلوكوز تدخل حلقة كريبس نحصل على الناتج السابق ، الوظيفة الأولى لحلقة كريبس هي إنتاج الطاقة و لها دور كما ذكرنا سابقاً اصطناع الحموض الأمينية و بالتالي يمكن أن تكون هذه الحموض وقوداً للحلقة .

كما أن لها دور في اصطناع الغلوكوز و بالتالي لها دور في استحداث السكر إذ أن الحلقة تسبب إنتاج مستقبلات تدخل في تشكيل الحموض الأمينية و السكريات كما ذكرنا .

إن تفاعلات الحموض الأمينية تشمل ناقلات الأمين و نازعات الأمين ، تفاعلات نقل الأمين تؤدي إلى تحول المركبات إلى حموض أمينية أما ناقلات الأمين (نازعات الأمين) هي التي تؤدي إلى تحول الحموض الأمينية إلى مستقبلات .

حلقة كريبس تساهم في استحداث الغلوكوز بدءاً من الأوكسالوأسيتات و ذلك بوجود خميرة خاصة هي فوسفوإينول بيروفات كاربوكسي كيناز التمس تحول الأوكسالوأسيتات إلى فوسفو إينول بيروفات و من هنا يأتي دور حلقة كريبس في إنتاج الغلوكوز .

ال a-Ketoglutarate يأتي من الغلوتارات الناتج من الغلوتامين (الحمض الأميني) الذي يأتي من الهيستيدين و الغلوتامين و الارجنين و الغليسيرين ، هذه الأحماض الأمينية هي مولدة للغلوماتين و هو الذي يعطي a-Ketoglutarate

الأحماض الأمينية السابقة تقدم الوقود اللازم لحلقة كريبس و ذلك حسب حاجة الجسم من الطاقة و حسب كمية هذه البروتينات ، في حال الحاجة للطاقة فإن الأحماض الأمينية السابقة تتحول إلى غلوتامات الذي يتحول بدوره إلى a-Ketoglutarate لتتابع الحلقة .

الفائدة الأخرى من حلقة كريبس Succinyl CoA الذي يعد وقود رئيسي للحلقة و الذي يأتي من

الإيزولوسين و الميثونين و الفالين و التي تعد مصدر أساسي ل Succinyl CoA

إذاً توجد أحماض أمينية تشكل مصدر أساسي لمركبات في الحلقة كما توجد مستقبلات تدخل في اصطناع تلك الاحماض الأمينية .

هل من ضوابط لحلقة كريبس ؟

إن حلقة كريبس تعمل في حالتي الجوع و الشبع ، إذ أن حلقة كريبس لها وظائف عديدة حتى غير إنتاج الطاقة ، ليست هناك آلية ضبط هرموني لحلقة كريبس ، لو كانت حلقة كريبس معتمدة على الهرمونات كالأنسولين فإن الحلقة لا تعمل و بالتالي هناك اضطراب في كل الاستقلاب ، كمية الأوكسالو أسيتات الموجودة في البدن هي التي تحدد الآلية المنظمة لحلقة كريبس ، إذ لا يوجد اصطناع للأوكسالوأسيتات .

إن لركائز الأساسية الموجودة هي التي تحدد آلية حلقة كريبس ،و كما نعلم أن هناك ترافق ما بين الأكسدة و الفسفرة و بما أن حلقة كريبس تتعلق بالأكسدة و الفسفرة فهي تتعلق بالأكسدة و الإرجاع أي بمقدار ما يكون لدينا من NAD^+ , FAD تعمل هذه الحلقة لأنها موجودة في المادة الأساسية

للمتقدرة و بما أن المكافئات المرجعية السابقة لها علاقة بتشكيل ال ATP و بالتالي لها دور

بالأكسدة و الفسفرة و كذلك ال ATP تؤثر بشدة كون لها علاقة بالأكسدة و الفسفرة .

إحدى الآليات المقترحة لتنظيم حلقة كريبس هي PDH كون ال $Acetyl CoA$ هو وقود حلقة

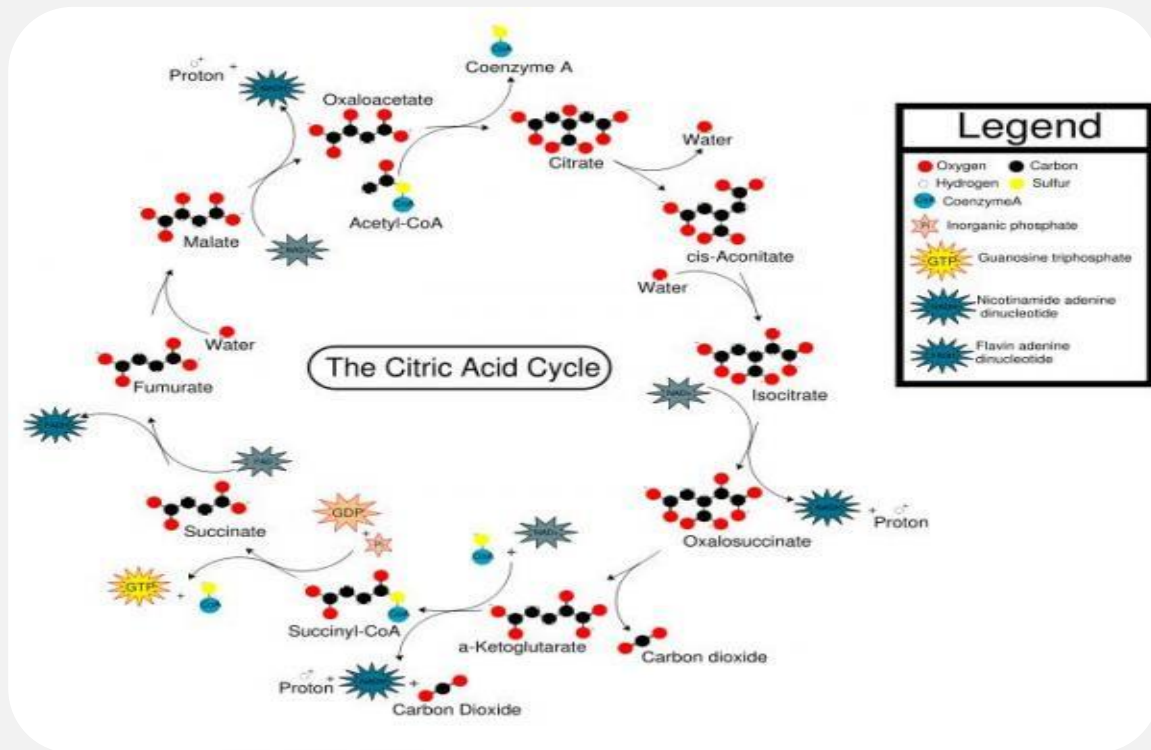
كريبس و ينتج عن حمض البيروفيك ، هنالك 6 تفاعلات غير عكوسة أهمها $AcetylcoA$

عندما يدخل في الحلقة إذاً نستطيع القول أن خضوع ال $Citerat Synthase$ لتنظيم

ما يتعلق بكمية ال ATP (في حال كمية كافية من الطاقة فيقل نشاط هذه الخميرة أي يقل نشاط

الحلقة) حسب كمية ال NAD^+ يتم عمل حلقة كريبس .

إن حلقة كريبس تتعلق بتركيز الركائز و حسب الحاجة للطاقة و حسب التماثل الانزيمية المرافقة لعمل الأنزيمات ، أي أن حلقة كريبس لها علاقة وثيقة بفيتامين B.



مثبطات حلقة كريبس :

1- خلاات الكلور أسيتات .

2- الزرنيخ (التي تثبطPDH لأنها ترتبط بالحمض الشحمي)

3-Amytalيثبط الفسفرة التأكسدية.

أي إعطاء كمية كبيرة من الكلورات تثبط حلقة كريبس .

ملاحظة : إن استخدام الزرنيخ عند أطباء الأسنان يتطلب موافقة من الطبيب المعالج المختص .

الخاتمة :

حب النجاح و التميز ، حب المعرفة و الاكتشاف دفعني لأقوم بهذا البحث المهم الذي يعد من أكثر الأمور التي نتعجب منها في حياتنا اليومية ، و تدل على قدرة الخالق المبدع العظيمة و إبداعه سبحانه ، فهذا الأمر من أهم الوظائف التي يستطيع الجسم من خلالها أن يخزن المواد الغذائية من غذائه اليومي لينتج بعد سبيل معقد تتخلله الكثير من الأنزيمات و التفاعلات البيو كيميائية ليستطيع الحصول على الطاقة اللازمة و الضرورية لاستمراره على قيد الحياة ، فهو بحث واسع و عميق و لكنني اقتصرته في بحثي على مقتطفات فقط تلم ببعض المعلومات التي تمنحك فكرة مبسطة لفهم هذه السبل.

في ختام هذا البحث أود إبداء إعجابي و تقدير لجهود هؤلاء العلماء التي بذلت في سبيل إغناء البشرية في هذا الموضوع الهام الذي يوضح مراحل سير السكر في الجسم و ما يطرا عليه من عمليات هدم و بناء و تفاعلات كيميائية في سبيل الحصول على الطاقة اللازمة، فهذا البحث قد أغنانا و ثقلنا علمياً بشكل كبير فيما يخص الكيمياء الحيوية و بشكل خاص ما يهم مكونات المادة الحية و على رأسها السكريات ، كما زاد من حبي للاكتشاف و الإبداع ، محققاً جزء من الفكر المستقبلي البعيد لمركزنا المركز الوطني للمتميزين الذي يهدف لخلق علماء باحثون يسعون لخدمة الوطن بعقولهم النيرة.

و عليّ ألا أنسى أن أخص بالشكر الأستاذ نضال حسن الذي قد أشرف على هذا البحث و أفاديني ببعض المراجع التي قد استفدت منها و طورتي بحثي من خلالها .

و يبقى الشكر الأكبر لسيادة الرئيس الدكتور بشار الأسد لإقامته هذا المركز الذي يرعى العقول و يسع في تطويرها و شكراً

المصادر والمراجع:

*Medical biochemistry Fourth Edition by
John W. Baynes PhD.*

*Carolina Distinguished professor
Emeritus, Department of Pharmacology
Physiology and Neuroscience.*

*University of South Carolina School of
Medicine*

Columbia, South Carolina

USA.

*Lippincott`s Illustrated Reviews –
Biochemistry 3rd Edition.*

الفهرس العام:

الباب	اسم الفصل	مرقم الصفحة
مخطط البحث وإشكاليته	_____	2
المقدمة	_____	3
الباب الأول: الاستقلاب والسكريات	الاستقلاب الحيوي الغذائي	4
	تعريف السكريات وتصنيفها	5
الباب الثاني: تصنيف السكريات	سكريات أحادية	8-7-6
	سكريات ثنائية	9
	سكريات متعددة	10
الباب الثالث: العمليات على السكريات	هضم السكريات	13-12-11
	امتصاص السكريات	14
	استقلاب السكريات	14
الباب الرابع: سبيل تحليل السكر	تحلل السكر	15
	مراحل سير تحليل السكر	19-18-17-16
	تحول سبيل التحلل إلى استحداث	20
	أهمية أنزيمات تحليل السكر	23-22-21
	بعض أمراضات تحليل السكر	26-24
الباب الخامس: حلقة كريبس	حلقة كريبس	27
	التفاعلات الحاصلة ضمنها	29-28
	بعض أمراضات هذه الحلقة	27
	الحصيلة الطاقية من هذه الحلقة	30

32-31	ضوابط ومثبطات حلقة كريبس	
33	_____	الخاتمة

فهرس الصور :

الصفحة	الصفحة
3	صورة للسكر
4	صورة لبعض المواد الغذائية الغنية بالسكربات
13	Figure 7.10 Digestion of carbohydrate
13	Figure7.11 Adonormal lactose metabolism
16	صورة للخطوة الأولى والثانية من تحليل السكر
17	صورة للخطوة الثالثة والخامسة
18	صور للخطوات السادسة والسابعة
19	صور للخطوات الثامنة والتاسعة والعاشر
22	مخطط يوضح مراحل آلية تحليل السكر
23	مخطط يوضح آلية حلقة كريبس

