التمثيل الغذائي (الأيض)

للكربوهيدرات

METABOLISM OF CARBOHYDRATES

التمثيل الغذائى (الأيض) للكربوهيدرانات

إن هضم النشا والسكريات الثنائية فى الغذاء ينتج عنه الجلوكوز والفركتوز والجلاكتوز ولكن كل طرق الهدم (أيض الهدم) لها تتجه جميعاً لتعطى الجلوكوز. الجلاكتوز على سبيل المثال يتحول فى الكبد إلى جلوكوز أو الى أحد نواتج تحولاته المبكرة. الفركتوز يبدأ تحوله إلى جلوكوز حتى إذا انتقل خارج القناة الهضمية.

التمثيل الغذائى (الأيض) للجليكوجين :

من تحكم الجسم فى مستوى سكر الدم يتم بمدى مقدرته على الإنتظام فى تخليق وتكسير الجليكوجين.

مستوى سكر الدم:

تركيز الجلوكوز فى الدم يعبر عنه بالمليجرامات لكل ديسيمتر ويعرف بمستوى سكر الدم. تحدد مدى قيمته بعد عدة من الساعات من الصوم تسمى مستوى الصوم العادى وتتراوح من ٦٥ إلى ٩٥ ملجم/دل.

نقص سكر الدم: Hypoglycemia

هذه الحالة يكون فيها مستوى السكر فى الدم تحت مستوى الصوم العادى وعندما يكون مستوى السكر فى الدم فوق العادى فإن الحالة تسمى فرط السكر فى الدم Hyperglycemia.

زيادة سكر الدم: Hyperglycemia

عندما يرتفع مستوى السكر فى الدم بنسبة كبيرة فإن الكلى لا تستطيع أن ترجع كل الجلوكوز إلى الدم أثناء حالة إعادة الامتصاص مع غزارة التبول كما أن زيادة من الجلوكوز تبقى فى البول. مستوى السكر فى الدم يكون حينئذ عادة من ١٤٠ إلى ١٦٠ ملجم/دل وأحياناً أعلى. عندما يكون الجلوكوز فى البول فإن الحالة تسمى جلوكوزيوريا Glucosuria

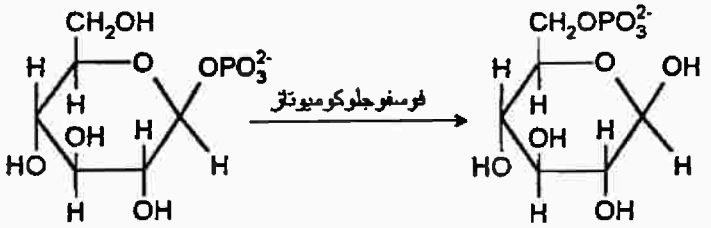
تكوين الجليكوجين "الجليكوجينية" وتحلل الجليكوجين "الجليكوجينولة" Glycogenesis and Glycogenolysis

عندما يكون هناك زيادة عن الجلوكوز المطلوب فى الدم ليقابل الطاقة المطلوبة حالاً فإن الزيادة يتم إزالتها من الدورة وتدخل فى التخزين كطاقة محفوظة. إن أحد الطرق والتى بها الجسم يقوم بذلك لتحويل الجلوكوز إلى الدهون. الطريق الأخر هو تحويل وحدات الجلوكوز

إلى جليكوجين يخزن فى الكبد وخلايا العضلات ويمكنها أن تصنع الجليكوجين بعملية تسمى جليكوجينية "تخليق الجليكوجين" ، الكبد عادة يخزن من ٧٠ إلى ١١٠ جرام من الجليكوجين والعضلات ككل تأخذ من ١٧٠ الى ٢٥٠ جرام من الجليكوجين عندما تحتاج العضلات الى الجلوكوز فإنه يمكن أن تأخذه مرة أخرى من مخزونه الأصلى وعندما ينخفض مستوى جلوكوز الدم بدرجة كبيرة فإن الكبد يمكن أن يكسر الجليكوجين مرة أخرى إلى جلوكوز ويخرجه إلى الدوره.

تكسير الجليكوجين فى الأنسجة يسمى جليكوجينولة "تحلل الجليكوجين" الايبينفرين epinephrine يفرز بواسطة النخاع الكظرى adrenal medulla خلايا العضلات والى حد ما فى الكبد فإن الايبينفرين ينشط تحلل الجليكوجين "الجليكوجينيلية" فإن الناتج النهائى للجليكوجينوليه ليس جلوكوز ولكنه يكون جلوكوز-١-فوسفات.

الخلايا التى تستطيع أن تقوم الجليكوجينولة بها إنزيم يسمى فوسفوجلكوميوتاز والذى يحفز تحويل جلوكوز-١-فوسفات إلى أيسومر له هو جلوكوز-٦-فوسفات.



جلوكوز-١-فوسفات　　جلوكوز-٦-فوسفات

خلايا الكبد بها إنزيم يحفز تحلل جلوكوز-٦-فوسفات إلى جلوكوز وفوسفات غير عضوى .

$$\text{جلوكوز-٦-فوسفات} \xrightarrow{\text{جلوكوز-٦-فوسفاتاز}} \text{جلوكوز} + Pi$$

العديد من الأمراض الوراثية تتعلق التحول الداخلى جلوكوز - جليكوجين .

الجلوكاجون: Glucagon

هو هرمون يساعد على حفظ مستوى سكر الدم ليكون أعلى من المستوى العادى ، إنه عبارة عن بولى ببتيد يصنع فى خلايا ألفا بالبنكرياس وعندما ينخفض مستوى السكر فى الدم فإن هذه الخلايا تحرر الجلوكاجون. إن النسيج المستهدف هو الكبد ويعتبر هذا الإنزيم منشط للجليكوجينولية من الايبينفرين ، وتحرر الجلوكاجون يساعد أن يحفظ مستوى الامداد بالطاقة المطلوبة.

الأنسولين :

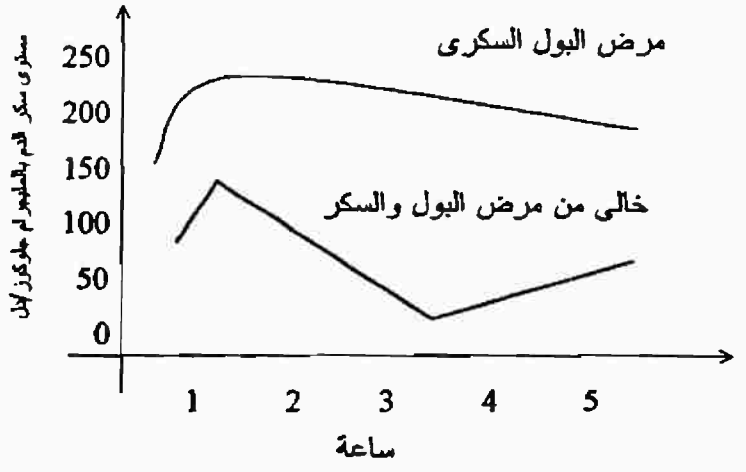
هرمون عبارة عن بولى ببتيد يفرز بواسطة خلايا β- (β-Cells) بالبنكرياس وله تأثير قوى على خفض مستوى السكر فى الدم.

سوماتوستاتين Somatostatin

هرمون عبارة عن بولى ببتيد يفرز بواسطة غدة ما تحت المهاد (جزء من المخ) Hypothalamus. ان هذا الهرمون يعمل على منع إفراز الجلوكاجون ويبطئ إفراز الأنسولين.

تحمل الجلوكوز Glucose Tolerance

مقدرة الجسم على تناول جلوكوز الطعام بدون أن يرفع مستوى جلوكوز الدم إلى درجة مرتفعة جداً أو ينزله الى الانخفاض كثيراً ويسمى هذا بتحمل الجلوكوز. عندما يشتبه فى المرضى حديثاً بإصابتهم بمرض البول السكرى فإنه يتم اختبار تحمل الجلوكوز لهم ويعتبر أهم أحد الاختبارات المستخدمة لكشف هذا الاشتباه حيث أن المريض يتناول جرعة مشروب يحتوى على الجلوكوز. عموماً فإن كمية الجلوكوز فى المشروب عبارة عن ١,٧٥ جرام/كجم من وزن الجسم ثم بعد ذلك يتم الكشف عن مستوى الجلوكوز على فترات منتظمة.

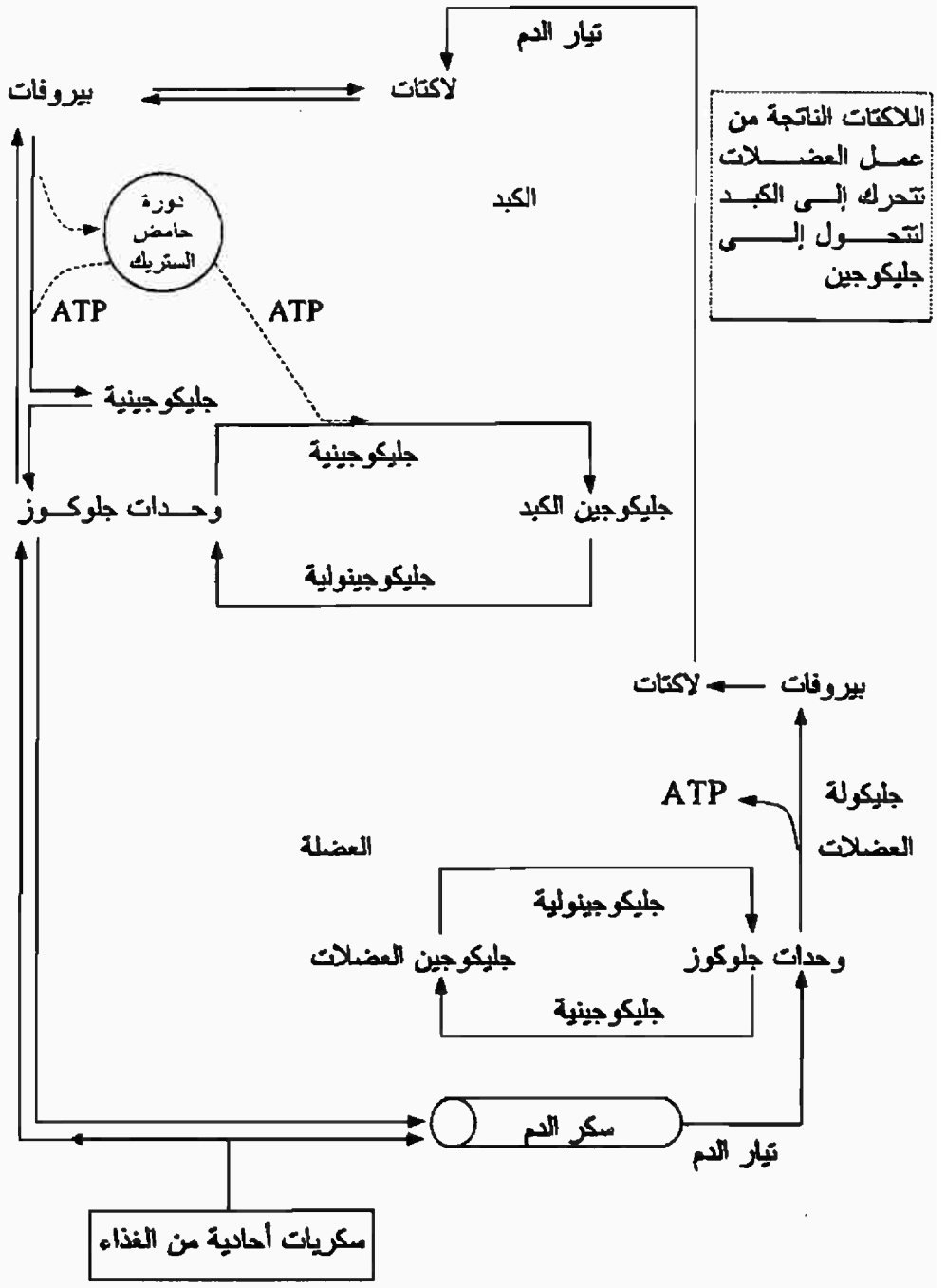


منحنيات تحمل الجلوكوز

إن مرض البول السكرى يعرف إكلينيكياً على أنه المرض الذى يصل فيه مستوى سكر الدم الى مستوى أعلى من المسموح به للشخص العادى. إن الشخص الغير معالج المريض بالبول السكرى يوجد لديه جلوكوز فى البول (جلوكوزيوريا).

دورة كورى : The Cori cycle

العديد من الاستخدامات وتقديرات ترتيب الجلوكوز الغذائى فى الجسم يكون ضمـــن دورة من الحقائق تسمى دورة كورى.



دورة كورى The Cori Cycle

التمثيل الغذائي للجلوكوز :

تحلل الجلوكوز "الجليكولة Glycolysis" ومسار فوسفات البنتوز تعتبر من أهم طرق الهدم الرئيسية المفتوحة للجلوكوز.

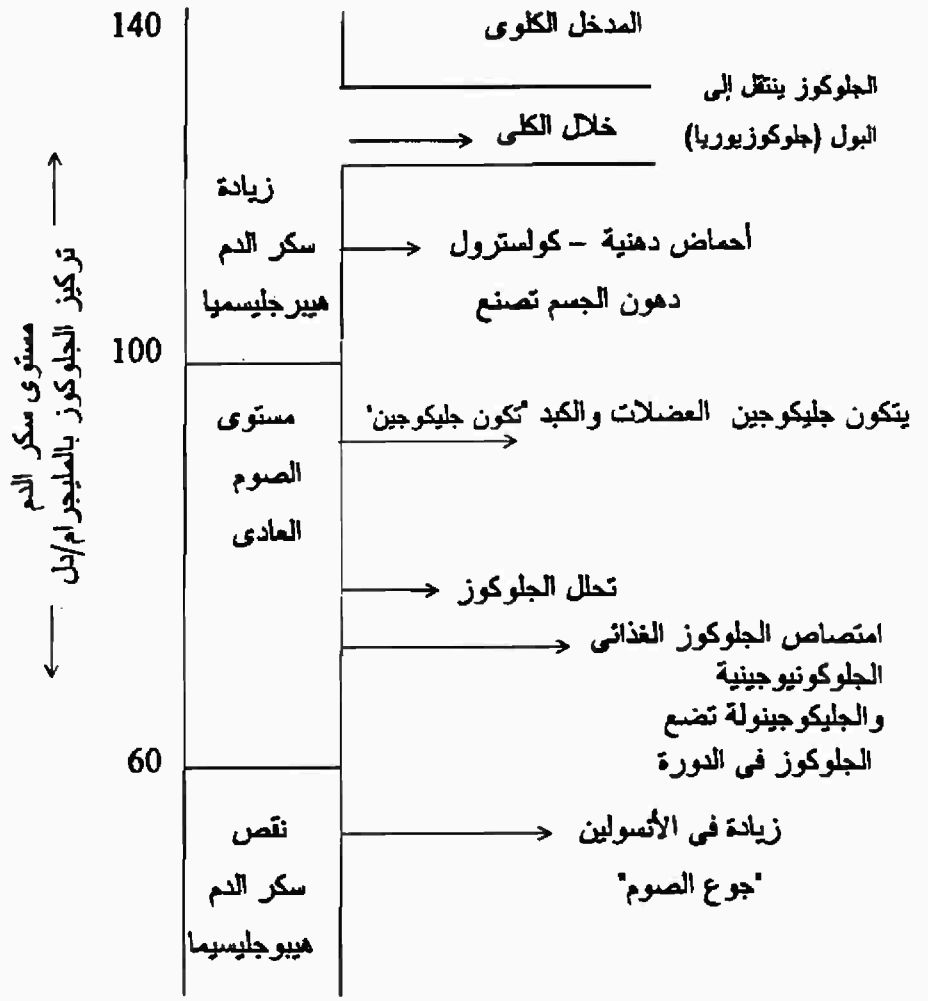
تحلل الجلوكوز "الجليكولة Glycolysis ":-

هى سلسلة من التفاعلات يتحول فيها الجلوكوز إما إلى بيروفات أو إلى لاكتات بينما تصنع كمية قليلة ولكن هامة من ATP. عندما تستقبل الخلية الأكسجين بمعدل أبطء من المطلوب فإن نهايات تحلل الجلوكوز "الجليكولة" تكون مع أيون اللاكتات وتتابع التفاعلات يسمى التسلسل اللاهوائى anaerobic لهدم الجلوكوز. النتيجة الكلية للتحلل اللاهوائى للجلوكوز "الجليكولة" من الجلوكوز يمكن أن تكتب كالآتى :

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi \longrightarrow 2CH_3\text{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}HCO_2^- + 2H^+ + 2ATP$$

جلوكوز — أيون لاكتات

فيما عدا أثناء التمارين الرياضية العنيفة فإن تحلل الجلوكوز "الجليكولة" يتم بكمية كافية من الأكسجين وتسمى حينئذ بالتسلسل الهوائى. الناتج النهائى هو أيون البيروفات ، تحلل الجلوكوز "الجليكولة" يتم فى العضلات بكثرة لينتج ATP . فى الكبد فإنه يتم كجزء من مسار طويل يحدث فيه تحويل الجلوكوز إلى أحماض دهنية.



العوامل التى تؤثر على مستوى سكر الدم

خطوات تحلل الجلوكوز "الجليكولة Glycolysis":-

تشتمل على عدة أنواع من التفاعلات وكيفما كان فإن تأكسد الجليسرالدهيد-٣-فوسفات الى ٣،١-ثنائى فوسفوجليسرات تحدث فى منتصف تسلسل التفاعلات. إن هذه الخطوة تتطلب NAD^+ أما NADH فيكون هو الناتج.

إذا كان النسيج يحدث تحلل الجلوكوز هوائياً (بإمداد كاف من الأكسجين) فإن هذا NADH يمكن أن يتغير بالرجوع الى NAD^+ بمرور أيونه :H^- فى ساحة سلسلة التنفس بينما يولد ثلاثة جزيئات من ATP وهكذا فإن تحلل الجلوكوز يعتبر طريق نمطى يستخدم تحت ظروف هوائية علاوة على تلك اللاهوائية. عندما يوجد اكسجين غير كاف فإن النظام

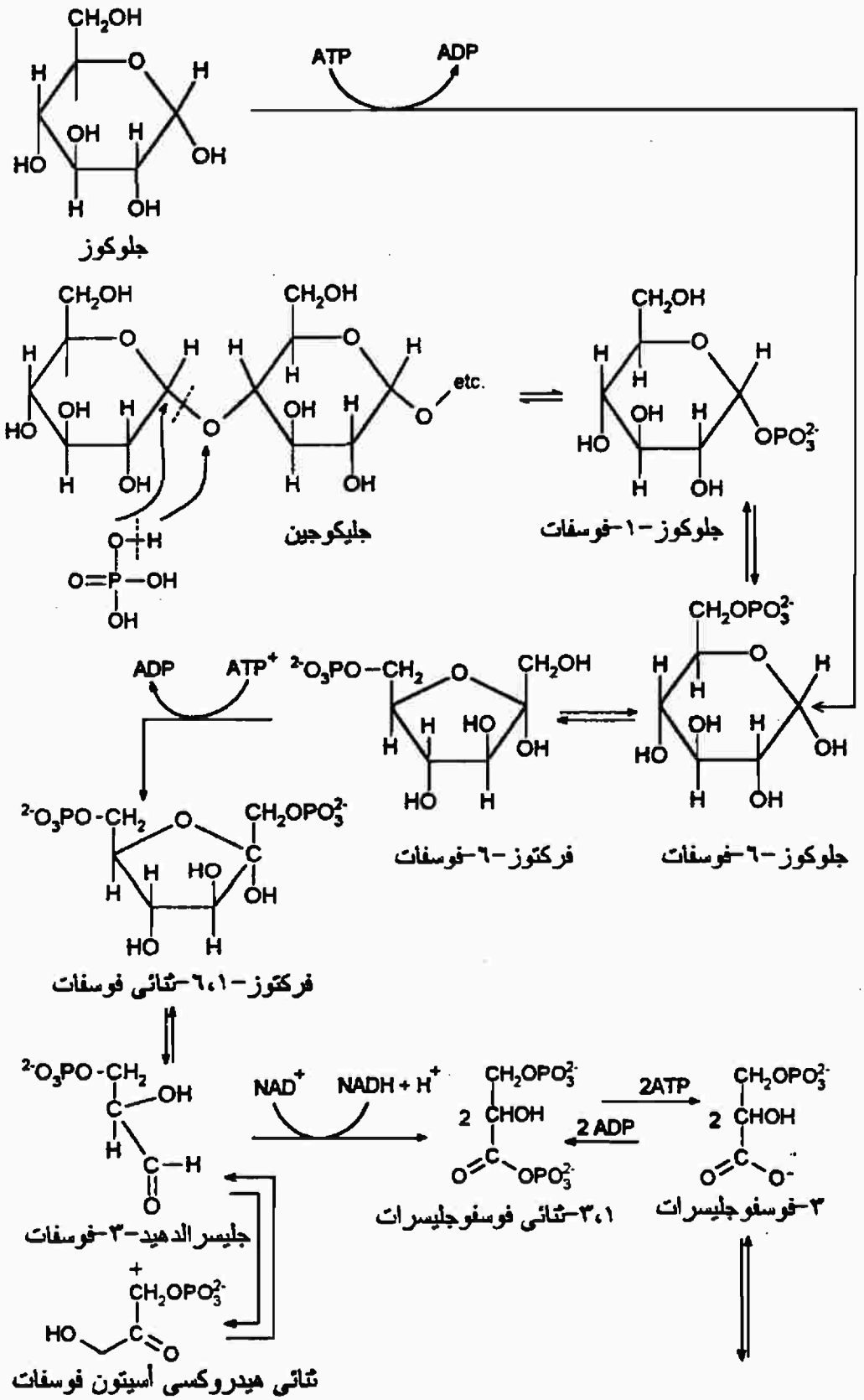
يستمر فى إخراج أيون الهيدريد $H:^-$ الى NADH ويعيد تولد NAD^+ وخلافاً لذلك فإن تحلل الجلوكوز يجب أن يغلق ولا يتم عمل زيادة من جزيئات ATP وليس حتى بصورة مؤقتة. إن الإنزيم عند خطوة الفتح فإنه يسد "يقطع" خط الإتصال بواسطة أيون الهيدريد $H:^-$ فى غياب الاكسجين فإن النظام له مكان آخر لكى يضع $H:^-$. تحت الظروف اللاهوائية فإن أيون البيروفات الذى يتكون أخيراً فى تحلل الجلوكوز يمكنه أن يستقبل أيون الهيدريد من NADH .

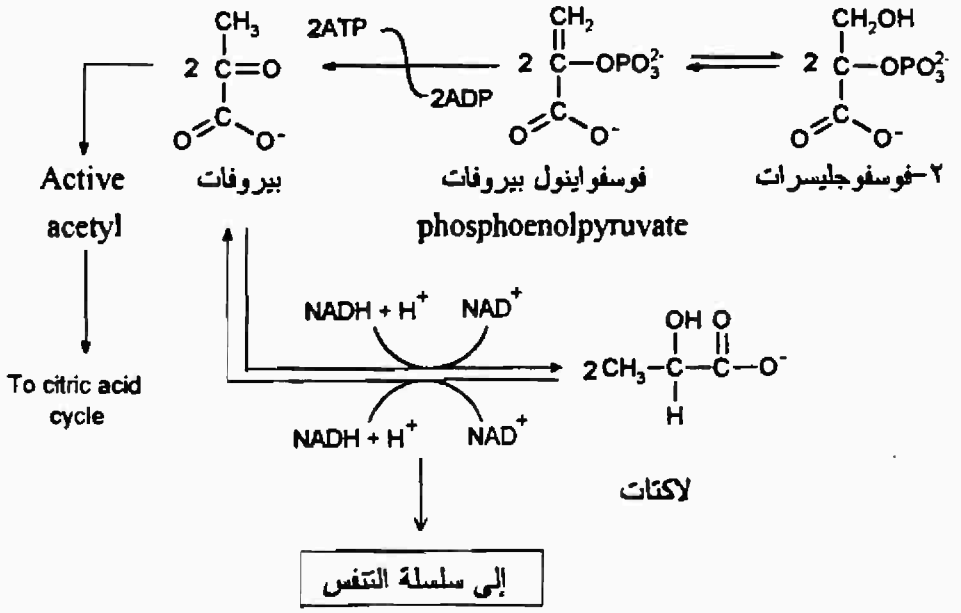
تحت الظروف اللاهوائية فإن الناتج النهائى لتحلل الجلوكوز يكون هكذا أيون اللاكتات.

عندما يعمل النسيج لاهوائياً فإن مستوى اللاكتات به يرتفع وهو فى وضع فقير بالاكسجين ، بمجرد ان امداد الاكسجين يرجع الى معدل كاف فإن اللاكتات تختزل وتتأكسد الى بيروفات. إن الهيدروجين فى نظام الكحول الثانوى لأيون اللاكتات يذهب الى سلسلة التنفس.

إن البيروفات التى تتكون تستخدم فى أى من الطريقين الرئيسيين. إذا استمر النسيج فى الاحتياج الى ATP فإن البيروفات يمكن أن تتكسر الى استيل مساعد الانزيم Acetyl coenzyme A والذى يوقد النواتج الهوائية إلى ATP . إن الطاقة الكيميائية فى البيروفات تحفظ وهذا يتم بتحويل الكثير من البيروفات مرة أخرى الى جلوكوز على حساب الطاقة الكيميائية فى جزء منه كما يتضح فى دورة كورى.

إن حفظ البيروفات الى استيل مساعد انزيم A واحد يولد وحدة واحدة من $H:^-$ ومن ثم فإن ٣ جزيئات من ATP يمكن أن تصنع وعندما نضيف ذلك الى ١٢ جزئ ATP من استيل مساعد الانزيم A ولذا فإننا نحصل على ١٥ جزئ من ATP بهدم وحدة البيروفات.


ATP
ADP
جلوكوز
جليكوجين
etc.
جلوكوز-١-فوسفات
جلوكوز-٦-فوسفات
فركتوز-٦-فوسفات
ATP+
ADP
فركتوز-٦،١-ثنائى فوسفات
NAD+
NADH + H+
2ATP
2 ADP
جليسر الدهيد-٣-فوسفات
ثنائى هيدروكسى أسيتون فوسفات
٣،١-ثنائى فوسفوجليسرات
٣-فوسفوجليسرات



مسار بنتوز الفوسفات:-

الطاقة الكيميائية فى الجلوكوز غالباً ما تستخدم فى عرض آخر غير تولد ATP ، العديد من الجزيئات البيوكيميائية الأخرى الهامة مثل الأحماض الدهنية يمكن أن تصنع بواسطة طاقة الجلوكوز. إن التخليق الحيوى للأحماض الدهنية يتطلب عامل مختزل (مانح للهيدريد). إن العامل المستخدم هو NADP:H أما الشكل المختزل له فهو $NADP^+$. إن $NADP^+$ هو مساعد انزيم مشابه تماماً للـ NAD^+ اننا نستخدم NAD^+ للمساعدة فى عمل ATP عندما نستخدم الطاقة.

إننا نستخدم $NADP^+$ للمساعدة فى صنع الاحماض الدهنية عندما تخزن الطاقة. إن الطريقة الرئيسية للجسم للحصول على NADP : H هو سلسلة طويلة من التفاعلات التى تسمى مسار بنتوزالفوسفات Pentosephosphate pathway ، ان المعادلة الكلية لمسار فوسفات البنيوز تكون :

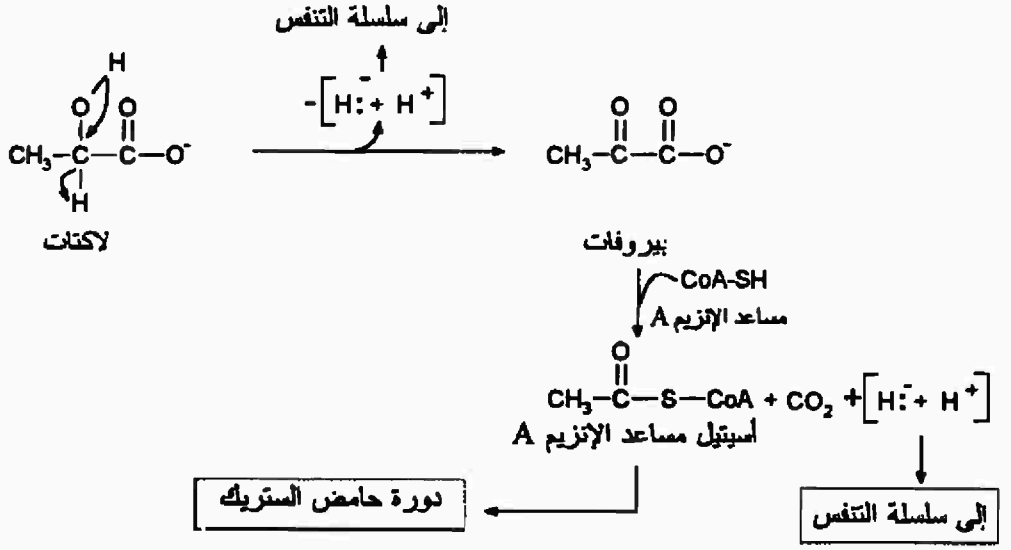
$$6\ (\text{Glucose-6-phosphate}) + 12\text{NADP} \longrightarrow 5\ (\text{Glucose-6-phosphate}) + 6\ CO_2$$

$$+ 12\ \text{NADPH} + 12\ H^+ + 12\ P_i$$

اتخاذ البنتوز فى اسم هذا المسار يرجع الى أن البنتوزات هى ضمن المركبات الوسيطة.

الجليكوجينية Gluconeogenesis تخليق الجلوكوز :

عندما تتراكم ايونات اللاكتات (ايونات البيروفات) تحت ظروف تكون فيها طاقتها الكيميائية غير مطلوبة فإن الجسم يحول معظمها مرة أخرى الى جلوكوز يخزن كجليكوجين. هذا النشاط الكيميائى يتم على نطاق واسع فى الكبد والكلى وهى الأعضاء التى تخزن الجليكوجين ، إن الأوكسالواسيتات oxaloacetate هو مركب وسيط هام والنتيجة هى عملية جليكونيوجينسية gluconeogenesis . المركبات الوسيطة من هدم بعض الأحماض الأمينية يمكن أن تستخدم كمواد أولية للجليكونيوجينية وهكذا فإذا كان الجسم يعانى من الجوع فإنه يستمر فى محاولاته للمحافظة على امداد الجلوكوز الى الدورة حيث أن بعض الأنسجة على سبيل المثال المخ يعمل أفضل اذا كان الجلوكوز متوفراً لديه كمصدر للطاقة الكيميائية ، بروتينات الجسم أثناء الجوع تتحلل الى أحماض أمينية تستخدم فى صنع الجلوكوز. مثالياً فإن طعام الشخص البالغ يجب أن يحتوى على الأقل من ١٥ الى ٢٥جم من الطعام دهون (على سبيل المثال من ٢ الى ٤ أجزاء من السمن أو الزبد) ٥٠ الى ١٠٠جم من الكربوهيدرات القابلة للهضم وعلى الأقل من ٤٦ الى ٥٦جم من البروتين كل يوم.



الربط بين تحلل الجلوكوز ودورة حامض الستريك إذا كان النظام هوائياً فإن البيروفات هى نقطة البداية ، وإذا كان النظام لاهوائياً فإن اللاكتات تتراكم بعد أن يبدأ الاكسجين فى أن يكون متاحاً مرة أخرى فإن اللاكتات يتم التخلص منها أو على الأقل جزء منها بواسطة هذا التسلسل.