الكاربوهيدرات Carbohydrates

هضم المواد الكاربوهيداتية في الجسم:

أ- **في الفم**: لا تتأثر السكريات الأحادية أو الثنائية أو السليلوز أما النشأ المطبوخ والدكسترين والكلايكوجين فإنها تتأثر بأنزيم اميليز اللعاب (البتالين) الذي يوجد في اللعاب فتحوله إلى سكر مالتوز، وأثناء هذا التحول تتكون عدة مركبات متوسطة يمكن إدراجها فيما يلي : نشا– اميلودكسترين– ارثرودكسترين– اكرودكسترين– مالتوز.

ب- **في المعدة**: يستمر عمل بتالين اللعاب لفترة تتراوح بين (10-30) دقيقة ويقف عمل هذا الانزيم عندما تصل حموضة المعدة إلى حد معين، والمعدة لا تفرز انزيمات تؤثر على المواد الكاربوهيدراتية، ولكن وجود حامض الهيدروكلوريك الموجود بالمعدة قد تحلل جزءاً بسيطاً من السكريات الثنائية مثل السكروز (سكر القصب) إلى مكوناتها من السكريات الاحادية.

ج- **في الاثنى عشر**:

1) بواسطة العصارة البنكرياسية يتحلل الجزء الباقي من المواد النشوية بواسطة اميليز البنكرياس متحولا إلى سكر المالتوز بنفس الخطوات التي تحدث في حالة بتالين اللعاب. وبواسطة اميليز العصارة البنكرياسية أيضا يتحول النشأ غير المطبوخ إلى مالتوز، أي أنه بانتهاء عمل الاميليز يتحول جميع ما بالطعام من نشأ إلى مالتوز.

أما بالنسبة للكسريات الاحادية والثنائية فإن العصارة البنكرياسية لا تؤثر فيهما.

2) بواسطة العصارة المعوية تتحلل السكريات الثنائية إلى سكريات أحادية فمثلا يؤثر انزيم المالتيز Maltase على المالتوز (الناتج من تحلل النشا بواسطة اللعاب والعصارة البنكرياسية) فيتحول إلى جزيئتين من الكلوكوز كما يؤثر انزيم اللاكتيز Lactase على اللاكتوز (سكر الحليب) فيتحول إلى جزئ من الكلوكوز وجزئ من الكالكتوز. أما انزيم السكريز Sucrase (الانفرتيزInvertase) فإنه يحلل سكر القصب (السكروز) إلى جزئ من كل من الفركتوز والكلوكوز، من هنا يتبين أنه بانتهاء عملية هضم المواد

Hind Shakir Ahmed

الكاربوهيدراتية تكون هذه المواد قد تحللت إلى سكريات أحادية بسيطة (كلوكوز– فركتوز– كالكتوز– بنتوز) يسهل امتصاصها بواسطة الامعاء الدقيقة.

امتصاص المواد الكاربوهيدراتية Absorption of carbohydrate:

يتم امتصاص السكريات الاحادية من الامعاء الدقيقة بواسط الطرق الآتية:

أ) الانتشار الغشائي Membrane diffusion

يرجع امتصاص السكريات الاحادية بواسطة الانتشار الغشائي إلى زيادة تركيز هذه السكريات في الامعاء الدقيقة عن تركيزها في الدم. ويعتمد الامتصاص بواسطة الانتشار الغشائي على الوزن الجزيئي للسكر، لذلك يلاحظ أن السكريات الخماسية الكاربون (الرايبوز) اسرع في امتصاصها من السكريات السداسية الكاربون (الكلوكوز والفركتوز... الخ) وعلى العموم فالامتصاص بواسط الانتشار الغشائي يحدث ببطء ولذلك فهذه العملية لا تعتبر العملية الاساسية لامتصاص السكريات الاحادية من الامعاء.

ب) الامتصاص عن طريق عملية الفسفرة Phosphorylation والامتصاص بهذه الطريقة يعتمد على فسفرة السكر الاحادي قبل ان يمتص، ويتم ذلك بواسطة انزيمات خاصة ومركب خاص له القدرة على منح مجموعة الفوسفات للسكر الاحادي هو (ادينوسين ثلاثي الفوسفات) Adenosine Triphosphate (ATP).

ويختلف الامتصاص بالفسفرة عن الامتصاص بواسط الانتشار الغشائي بما يلي:

ت	عملية الامتصاص بطريقة الانتشار الغشائي	عملية الامتصاص بطريقة الفسفرة
1	تعتمد على الوزن الجزيئي للسكر	لا تعتمد على الوزن الجزيئي للسكر
2	تتأثر بتركيز السكر في الامعاء الدقيقة	لا تتأثر بتركيز السكر في الامعاء الدقيقة
3	عملية لا انزيمية	عملية انزيمية أي تعتمد على وجود الانزيمات
4	عملية بطيئة	عملية سريعة
5	ليست بذات أهمية في امتصاص السكريات	لها أهمية قصوى في امتصاص السكريات
6	ليست عملية اختيارية بل تتم طبقا لقوانين محددة لا يدخل نوع السكر في التأثير عليها	عملية اختيارية وفيها تختلف سرعة الامتصاص من سكر لآخر

Hiba Shakir Ahmed

الأكسدة الحيوية: Biological Oxidation

من الملاحظ بأن الأكسدة الحيوية أو البيولوجية يمكن أن تتم دون مشاركة جزيئة O_2 وعلى سبيل المثال عملية الـ Dehydrogenation.

إن حياة الكائنات العليا تعتمد بالتأكيد على التزود بالأوكسجين للتنفس وأن الخلايا تستمد الطاقة على شكل جزيئة ATP من تفاعل مسيطر عليه للهيدروجين مع O_2 لتشكيل الماء في داخل السلسلة التنفسية.

انتقال الالكترونات والفسفرة التأكسدية

Electron Transport and Oxidative phosphorylation

يعد المركبان $NADH_2$ و$FADH_2$ اللذان تكونا من مسار الكلايكولسز ودورة الحامض الثلاثي الكاربوكسيل واكسدة الاحماض الدهنية من المركبات الغنية بالطاقة. والسبب يعزى الى احتواء كل منهما على زوج من الالكترونات التي لها جهد ناقل عال High transfer potential فعندما تنتقل هذه الالكترونات بوساطة السلسلة التنفسية (او سلسلة نقل الالكترونات) الى الاوكسجين في المايتوكوندريا تتحرر كمية كبيرة من الطاقة. ان هذه الطاقة المتحررة تستخدم لتوليد جزيئات ATP. فالأكسدة الفسفورية اذن هي تكوين ATP عند مرور الالكترونات من $NADH_2$ او $FADH_2$ الى الاوكسجين O بوساطة سلسلة نقل الإلكترونات. وتعد هذه العملية اكبر مصادر توليد ATP من الكائنات الهوائية Aerobic داخل المايتوكوندريا Mitochondria الذي يطلق عليه مصنع القوة في الخلية. فعلى سبيل المثال تولد الفسفرة التأكسدية 32 جزيئة من ATP من مجموع 36 جزيئة من الاكسدة الكاملة لمول واحد من الكلوكوز الى ماء وثاني اوكسيد الكاربون.

بعض الملامح البارزة لسلسلة انتقال الالكترونات والفسفرة التأكسدية:

- ان خطوات تكوين $NADH_2$ و$FADH_2$ من تقويض breakdown الكلوكوز بمسار الكلايكولسيز ودورة الحامض الثلاثي الكاربوكسيل هي:

Hind Shakir Ahmed

1- التفاعلات التي تنتج $FADH_2$

Succinate ⟶ Fumarate

2- التفاعلات التي تنتج $NADH_2$

1- Glyceraldehyde 3-p ⟶ 1,3-diphosphoglycerate
2- Pyruvate ⟶ Acetyl CoA
3- Isocitrate ⟶ α-ketoglutarate
4- α-ketoglutarate ⟶ Succinyl CoA
5- Malate ⟶ oxaloacetate

مكونات السلسلة التنفسية:

تحتوي السلسلة التنفسية في المايتوكوندريا على المكونات التالية:

1) NADH ديهيدروجينيز NADH dehydrogenase وهو بروتين يدعى فلافوبروتين Flavoprotein ويحتوي على مجموعة رابطة (ترقيعية Prosthetic) تدعى فلافين أحادي النيوكليوتيد (FMN).

2) مساعد الانزيم Q Coenzyme Q ويدعى أيضا اليوبيكينون Ubiquinone ويصنف من الدهون، ويحتوي على سلسلة جانبية تسمى آيزوبرينويد isoprenoid.

3) السايتوكرومات Cytochromes وهي بروتينات تحتوي على مجموعة رابطة وهي جزيئة الهيم الحاوية على الحديد الذي يعاني من الاكسدة والاختزال في اثناء انتقال الالكترونات ويكون تسلسل السايتوكرومات في السلسلة التنفسية بالشكل الآتي:

$Cytb \rightarrow Cytc_1 \rightarrow Cytc \rightarrow Cyt\ (a+a_3)$

حيث تنتقل الالكترونات عبر السايتوكرومات إلى الاوكسجين

أ- الموقع الاول : وينحصر بين $NADH_2$ و Co Q

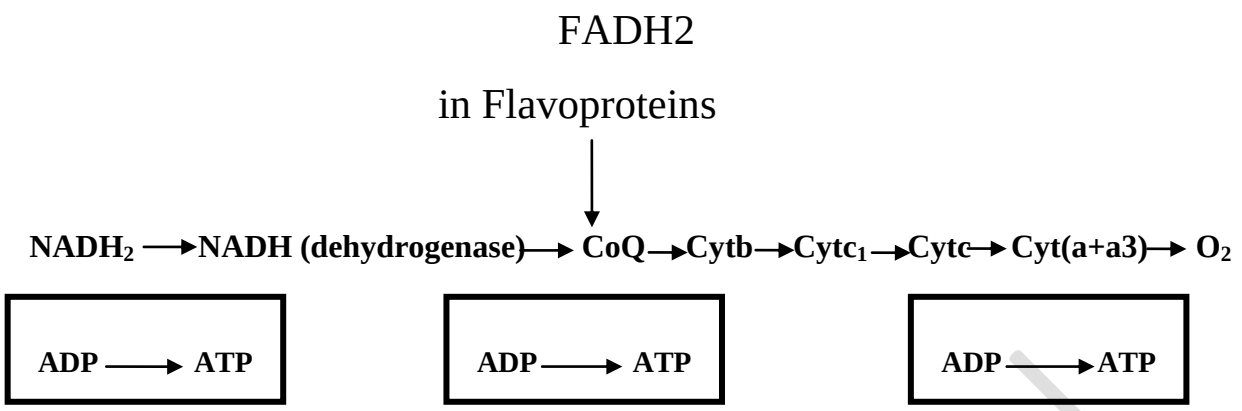
ب- الموقع الثاني : وينحصر بين سايتوكروم b و c

ت- الموقع الثالث : وينحصر بين سايتوكروم c و O_2

عند هذه المواقع الثلاثة تتم فسفرة ADP وتحولها الى ATP

ADP + Pi ⟶ ATP

Hind Shakir Ahmed



شكل (1): يوضح سلسلة نقل الالكترونات بتولد ATP في ثلاثة مواقع

إن السلسلة التنفسية موجودة في الغشاء الداخلي للمايتوكوندريا في الخلايا الحقيقية النواة أما الخلايا البدائية النواة فتكون مرتبطة بالغشاء البلازمي.

تحتوي السلسلة التنفسية على انزيمات تعمل على نقل e^- من الغذاء إلى O_2 التنفس حيث تحمل هذه الالكترونات على المكافئات الاختزالية $NADH_2$ و $FADH_2$ حيث تتحول إلى الشكل المؤكسد NAD^+ و FAD^+ وعندها تحرر طاقة أي انسياب الـ e^- داخل السلسلة التنفسية سوف يحرر طاقة والطاقة تعمل على تحويل الـ ADP إلى ATP وهذه العملية تدعى الفسفرة التأكسدية.

فسفرة تأكسدية:

$$NADH + H^+ + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NAD^+ + H_2O + 3ATP$$

$$FADH + H^+ + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow FAD^+ + H_2O + 2ATP$$

إن المكافئ الاختزالي $NADH+H^+$ يدخل السلسلة التنفسية في منطقة NADH-dehydrogenase لهذا فهو يحرر 3ATP من عملية الفسفرة التأكسدية أما الـ $FADH+H^+$ فيدخل في منطقة CoQ لذلك فهو يحرر 2ATP من الفسفرة التأكسدية.

إذن كل جزيئة $NADH_2$ تعني (3) جزيئات ATP وكل جزيئة $FADH_2$ تعني جزيئتين من ATP في حسابات الطاقة الحياتية للأنظمة الهوائية.

Hind Shakir Ahmed

تاثير بعض المركبات في انتقال الالكترونات والفسفرة التاكسدية:

لما كانت عملية انتقال الالكترونات مزدوجة coupled مع عملية الفسفرة التأكسدية، فهناك مركبات كيمياوية تزيل عملية الازدواج، كما ان هناك مركبات اخرى تثبط انتقال الالكترونات، وفي كل من الحالتين يتم احباط تكوين ATP من ADP و Pi ومن هذه المثبطات ما يأتي:

1- العوامل المزيلة للازدواج Uncoupling agents

مثل 4,2- ثنائي نتروفينول 2,4-dinitrophenol وفالينومايسين valinomycin وكراماسدين gramicidin، حيث تعمل هذه المركبات على زيادة نفاذ البروتونات الى داخل الغلاف الداخلي للمايتوكوندريا، وهكذا تستخدم طاقة انتقال الالكترونات فتتشتت ولا يتم تكوين ATP .

2- العوامل المثبطة لانتقال الالكترونات Electron transport inhibitors

مثل السيانيد CN^- وأول أوكسيد الكاربون CO وكبريتيد الهيدروجين H_2S والاكتينومايسين Actinomycin والباربتيوريت Barbiturate. تعمل هذه المركبات على تثبيط لسير الالكترونات. فالسيانيد يتفاعل مع Fe^{+3} للسانيوكروم a + a_3 في حين ان اول اكسيد الكاربون يثبط تكوين الحديدوز.

الية الفسفرة التاكسدية Mechanism of oxidative phosphorylation:

هناك فرضيتان لتفسير الية الفسفرة التاكسدية وهما:

1- فرضية الازدواج الكيمياوي Chemical Coupling Hypothesis

تتضمن هذه الفرضية انه عند انتقال الالكترونات من احد النواقل الالكترونية الى الآخر يتولد مركب وسطي ذو اصرة تساهمية غنية بالطاقة يخدم كمادة اولية Precursor لتكوين الاصرة الفوسفاتية ذات الطاقة العالية ل ATP . ان هذا النموذج مبني على الية الفسفرة عند مستوى مادة الاساس Substrate level phosphorylation كما في فسفرة 3- فوسفو كليسريت الى 3,1– ثنائي فوسفوكليسريت بوساطة انزيم كليسرالديهايد 3- فوسفيت ديهيدروجنيز.

Hind Shakir Ahmed

2- فرضية التنافذ الكيمياوي Chemiosmosis Hypothesis

لقد افترض في هذه النظرية ان غلاف المايتوكوندريا يكون غير نفاذ للبروتونات. فانتقال الالكترونات من احد النواقل الالكترونية الى الاخر في السلسلة التنفسية يسبب انتقال ايونات الهيدروجين عبر الغلاف نحو الخارج. وهكذا فان السلسلة التنفسية تعمل مضخة لضخ البروتونات. ففي هذه الحالة تعد ايونات الهيدروجين القوة الدافعة لتكوين ATP من ADP و Pi.

الطاقة الناتجة عن الاكسدة الكلية للكلوكوز:

من الممكن احتساب عدد جزيئات ATP الناتج عن الاكسدة الكلية لمول 1 من الكلوكوز بوساطة الاوكسجين الجزيئي الى CO_2 وH_2O بمسارات الكلايكولسز ودورة الحامض الثلاثي الكاربوكسيل والفسفرة التأكسدية (الجدول التالي)

ان التفاعل الكلي لأكسدة مول 1 من الكلوكوز هو:

$$Glucose + 36\ ADP + 36\ Pi + 36\ H + 6\ O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 36ATP + 42H_2O$$

ان نسبة P:O هي 3 طالما ان هناك 36 جزيئة من ATP تكونت و 12 ذرة من الاوكسجين (اي $6CO_2$) كانت قد استهلكت. ان عدد جزيئات ATP المتكون من الفسفرة التأكسدية يعادل 32 من مجموع 36 جزيئة، اي ان جزيئات ATP هي تلك المتولدة من اكسدة NADH و $FADH_2$ بوساطة الفسفرة التأكسدية كما في الجدول التالي:

Hind Shakir Ahmed

جدول يوضح عدد جزيئات ATP المتولد من الاكسدة الكلية لجزيئة الكلوكوز

نوعية المسار	النواتج المباشرة من المسار ATP المتولدة من المسارات الثلاثة
كلايكولسز كلوكوز ⟵ 2 بايروفيت	2NADH + 2ATP (8 او 6)
دورة الحامض ثلاثي الكاربوكسيل 2 بايروفيت ⟵ 2 اسيتايل CoA	6: 2X3 2NADH
ايزوستريت ⟵ الفا- كيتوكلوتاريت	6:2X3 2NADH
الفا- كيتوكلوتاريت⟵ سكسنايل CoA	6:2X3 2NADH
سكسنايل ⟵ CoA سكسنيت	2:2X1 2GTP
سكسنيت⟵ فيوماريت	4:2X2 $2FADH_2$
ماليت⟵ اوكزالواستيت	6: 2X3 NADH
	36-38 ATP

- ان القيمة العالية ل ATP تعود الى استخدام مكوك الماليت اما القيمة القليلة فتعود الى استخدام مكوك كلسرول فوسفيت.

عدد جزيئات ATP المتولدة من جزيئة Acetyl CoA من مصدر غير كاربوهيدراتي

Type of path	Direct product from the path	No.of ATP
Iso citrate ⟶ α-ketoglutarate	NADH	3ATP
α-ketoglutarate ⟶ Succinyl CoA	NADH	3ATP
Succinyl CoA ⟶ Succinate	GTP	ATP
Succinate ⟶ Fumarate	$FADH_2$	2ATP
Malate ⟶ OA	NADH	3ATP
		12 ATP من جزيئة Acetyl CoA واحدة

Hind Shakir Ahmed

عمليات هدم الكاربوهيدرات Carbohydrate Catabolism

إن الوظيفة الرئيسية للكاربوهيدرات هي توليد طاقة لأنسجة الجسم المختلفة لغرض استخدامها للعمليات الايضية المختلفة. إن هذه الطاقة المتولدة تنتج عن اكسدة الكاربوهيدرات. إن الكاربوهيدرات التي تستخدمها الخلايا لأغراض الطاقة هي السكريات الاحادية، وتشمل الكلوكوز والفركتوز والكالكتوز والمانوز والرايبوز والديوكسي رايبوز. ويعد الكلوكوز السكر الرئيسي المستخدم على نطاق واسع في العمليات الايضية.

تدخل الكاربوهيدرات العمليات الايضية الآتية:

1. الكلايكولسز او انحلال السكر Glycolysis.
2. دورة حامض الستريك Tri carboxylic acid cycle أو دورة كريبس Krebs cycle.
3. الكلوكونيوجنزيز Gluconeogenesis أي بناء الكلوكوز من مصادر غير كاربوهيدراتية.
4. مسار البنتوزفوسفيت Pentose phosphate pathway (PPP).
5. الكلايكوجينولسز Glycogenlysis أي انحلال الكلايكوجين إلى سكر الكلوكوز.
6. الكلايكوجنزز Glycogenesis أي بناء الكلايكوجين من الكلوكوز.

الكلايكولسيز Glycolysis (انحلال السكر)

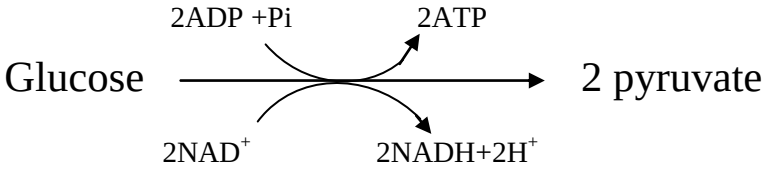
هي عملية هدم السكريات الاحادية (الكلوكوز، الفركتوز، الكالكتوز) بواسطة انزيمات الكلايكولسز في السايتوبلازم وبمعزل عن الاوكسجين (لا هوائي) anaerobic process إن الغاية من الكلايكولسز تكمن في ما يأتي:

1. توليد مركب غني بالطاقة بشكل ATP وقوة اختزالية بشكل مركب NADH.
2. إنتاج جزيئة حامض البايروفيك Pyruvic acid البالغ الأهمية.
3. تكوين مركبات وسطية intermediates تستخدم لأغراض بناء مركبات كيمياوية أخرى مهمة فعلى سبيل المثال يستخدم كليسرول -3 فوسفيت لبناء الدهون ثلاثية اسيل

Hind Shakir Ahmed

الكليسرول Triacylglyceride والدهون المفسفرة كما ويستخدم حامض البايروفيك لبناء الحامض الاميني الألانين.

تتم خطوات هدم الكلوكوز في السايتوبلازم إن جميع انسجة الجسم تحتوي على انزيمات الكلايكولسز وهي قادرة على اكسدة الكلوكوز ويمكن كتابة المعادلة العامة للكلايكولسز بالآتي:



ويمكن تقسيم مسار الكلايكولسز إلى مرحلتين:

* المرحلة الأولى: وهي المرحلة المستهلكة لجزيئات ATP وتتضمن فسفرة الكلوكوز وتحويله إلى جزيئين من السكر الثلاثي كليسيرالديهايد -3- فوسفيت.

* المرحلة الثانية: وهي المولدة لجزيئات ATP وتتضمن استخدامات السكريات الثلاثية الوسطية لإنتاج ATP وتبدأ من السكر الثلاثي كليسيرالديهايد -3- فوسفيت إلى حامض البايروفيك.

شرح المخطط العام لعملية الكلايكولسيز شكل رقم (1) يتحلل السكر بعشرة خطوات متعاقبة تحفزها انزيمات توجد في سايتوبلازم الخلية ويمكن تقسيم المخطط إلى مرحلتين كما ذكر سابقا.

المرحلة الأولى :

1-الخطوة الأولى : خطوة تنشيط الكلوكوز وفسفرته لتكوين G-6-P (Glucose –G- phosphate)

$$\text{Glucose} + \text{ATP} \xrightarrow[\text{hexokinas}]{Mg^{++}} \text{Glucose - 6- p}$$

كذلك فإن في الكبد يوجد انزيم كلوكوكينيز ويقع تأثير الانسولين على تخليقه فعند زيادة الكلوكوز يخلق الانزيم بإفراز الهرمون .

2- الخطوة الثانية : تكوين Fructose-6-phosphate (F.6.P) وهو تفاعل عكسي

$$\text{G.6.P} \xleftarrow[\text{Phosphoglyco Isomerase}]{Mg^{++}} \text{F.6.P}$$

انزيمات التفاعل هو فوسفور كلوكوازومريز وبوجود Mg^{++}.

Hind Shakir Ahmed

3- الخطوة الثالثة : خطوة تنشيط ثانية يتم فيها فسفرة F.6.P إلى F1,6 di P

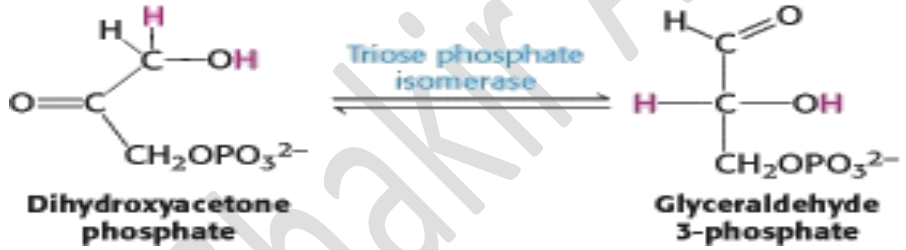
$$\text{F.6.P} \xrightarrow[Fructokinase]{phospho} \text{F. 1, 6 diphosphate}$$

انزيم فوسفوفركتوكينيز

يعتبر هذا الانزيم من الانزيمات المنظمة لسرعة التحلل السكري عند زيادة (ATP) فإن الانزيم سوف تقل فعاليته أما عند وجود (ADP) فإن سرعته سوف تزداد.

4- الخطوة الرابعة: يتم فيها انشطارF 1,6 diphosphate إلى وحدتين من السكريات الثلاثية بفعل انزيمات الالدوليز Aldolase

5- ويتم تحويل dihydroxyaceton phosphate إلى glyceraldehyde-3-P دائما لأنه هو الذي يدخل المرحلة الثانية بفعل انزيم Triose phosphor isomerase إن التفاعل الأخير هو نهاية المرحلة الأولى للكلايكوليسز



وبذلك ففي نهاية المرحلة الأولى للكلايكوليسز (Glycolysis) تتكون جزيئتين من كليسرالديهايد -3- فوسفيت من جزيئة واحدة كلوكوز.

المرحلة الثانية:

6- تتم عملية فسفرة glyceraldehyde-3-P إلى ثنائي فوسفات

$$\text{Glyceraldehyde -3-p} \xrightarrow[\text{Gly.3ph.ase}]{NAD^+ \quad NADH+H^+} \text{1,3diphosphoglycerate}$$

إن الانزيم المحفز لهذا التفاعل هو:

glyceraldehyde-3- phosphate dehydrogenase

7- يتم حفظ الطاقة على شكل ATP من 1,3 diphasphoglycerate

Mg^{++}

Hind Shakir Ahmed

1,3diphosphoglycerate +ADP ⟷ 3-phosphoglycerate +ATP

الانزيم المحفز لهذا التفاعل هو فوسفوكلسيريت كينيز phosphoglycerate kinase .

ملاحظة:

رغم أن جزيئة واحدة من الـ ATP نتجت إلا أننا لا ننسى أن هناك جزيئتين من 1 ، 3 ثنائي فوسفوكلسيريت قد تكونت من الكلوكوز لذا فإن هذا التفاعل سوف يعطي 2ATP وكذلك فإن الـ 2ATP قد صرفتا في المرحلة الأولى من التفاعل لذا فلا كسب ولا خسارة في الـ ATP لحد الآن قد حصل ولكن الذي حصل فقط تعويض لجزيئات الـ ATP المفقودة في المرحلة الأولى

8- $\text{3-phosphoglycerate} \xleftrightarrow{Mg^{++}} \text{2-phosphoglycerate}$

الانزيم الذي يحفز هذا التفاعل هو phosphoglycerate mutase

9- تكوين مركب PEP (phosphoenol pyruvate) تفاعل منتج الطاقة

$$\text{2-phosphoglycerate} \xleftrightarrow[\text{Enolase}]{Mg^{++}} \text{phosphoenol pyruvate}$$

10- وهي الخطوة الثانية لانتاج ATP

$$PEP + ADP \xrightarrow{pyruvate\ kinase} pyruvate + ATP$$

ويعتبر هذا الانزيم أيضا انزيما منظما شأنه شأن PFK لأنه يثبط بالتراكيز العالية للـ ATP ويتحفز بالخطوات الأيضية الوسطية .

ونفس العملية تحدث هنا حيث تتحول جزيئتين إلى ATP بوجود NADH .

$$NADH + H^+ + pyruvate \rightleftharpoons Lactate + NAD^+$$

إن اللاكتيت في الحيوانات الراقية ينقل مع الدم إلى الكبد وهناك يتم اكسدته أو إنتاج الطاقة منه أو يعاد تكوين الكلوكوز منه.

إذن في عملية هدم الكلوكوز بمعزل عن الاوكسجين (تنفس لا هوائي) تكون حصيلة جزيئات الـ ATP هي (2ATP) وكالآتي:

$$4ATP - 2ATP = 2ATP$$

Hind Shakir Ahmed

الطور الأول	الطور الثاني
يستهلك 2ATP	ينتج 4ATP

إذن صافي جزيئات الـ ATP من التحلل السكري غير الهوائي هو 2ATP = 2-4

أما إذا دخلت المكافئات الاختزالية إلى السلسلة التنفسية في المايتوكوندريا فتحصل عملية تحلل سكري هوائي والمكافئات الاختزالية من عملية التحلل السكري هي جزيئتين من الـ NADH.

ان NADH المتولد في السايتوبلازم من عملية الكلايكولسز والناتج عن تحول كليسرالديهايد 3- فوسفيت الى 3، 1 ثنائي فوسفوكليسريت لا يمكن الاستفادة منه في توليد الطاقة طالما يوجد في السايتوبلازم.

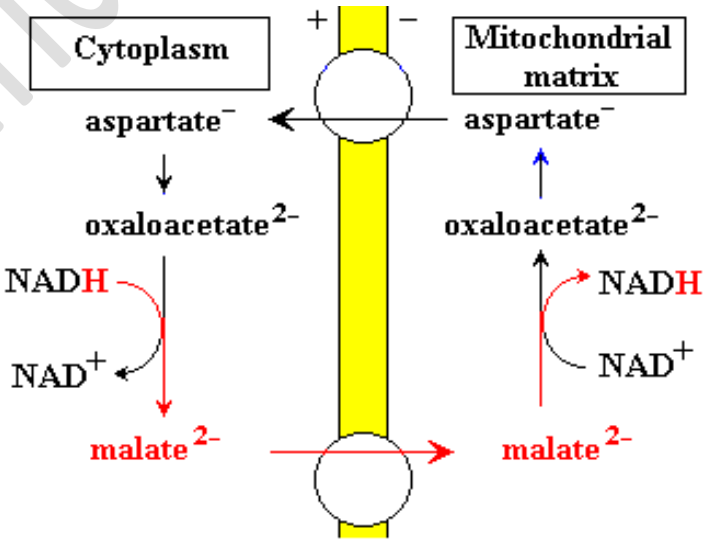
ولما كان المايتوكوندريا غير نفاذ لدخول NADH فان الكترونات NADH هي التي سوف تنتقل الى داخل المايتوكوندريا وليس ال NADH نفسه ويتم دخول الالكترونات في داخل المايتوكوندريا عن طريق احد المكوكين Shuttle الآتيين:

1) المسار الجانبي للماليت Malate shuttle.

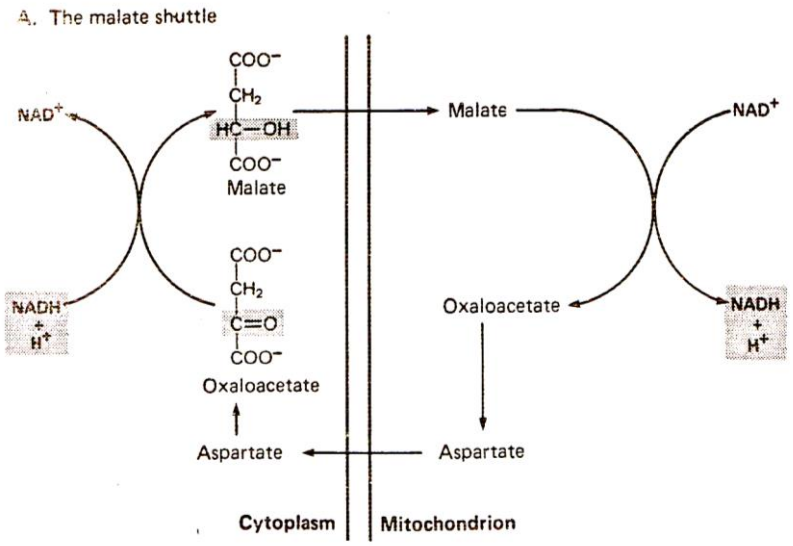
2) المسار الجانبي للكليسرول فوسفيت Glycerol phosphate shuttle.

1- المسار الجانبي للماليت

يتم ويتضمن انتقال الالكترونات من NADH الى الاوكزالواستيت والذي يختزل الى الماليت (الشكل التالي) يدخل الماليت بعد ذلك في المايتوكوندريا .



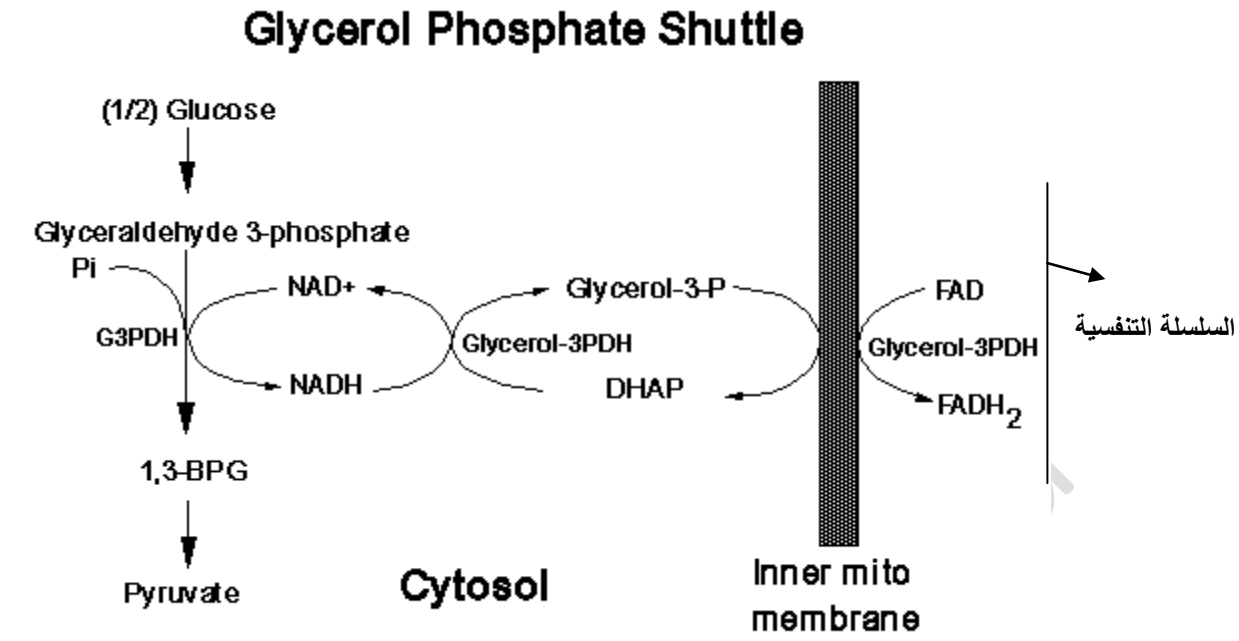
Hind Shakir Ahmed

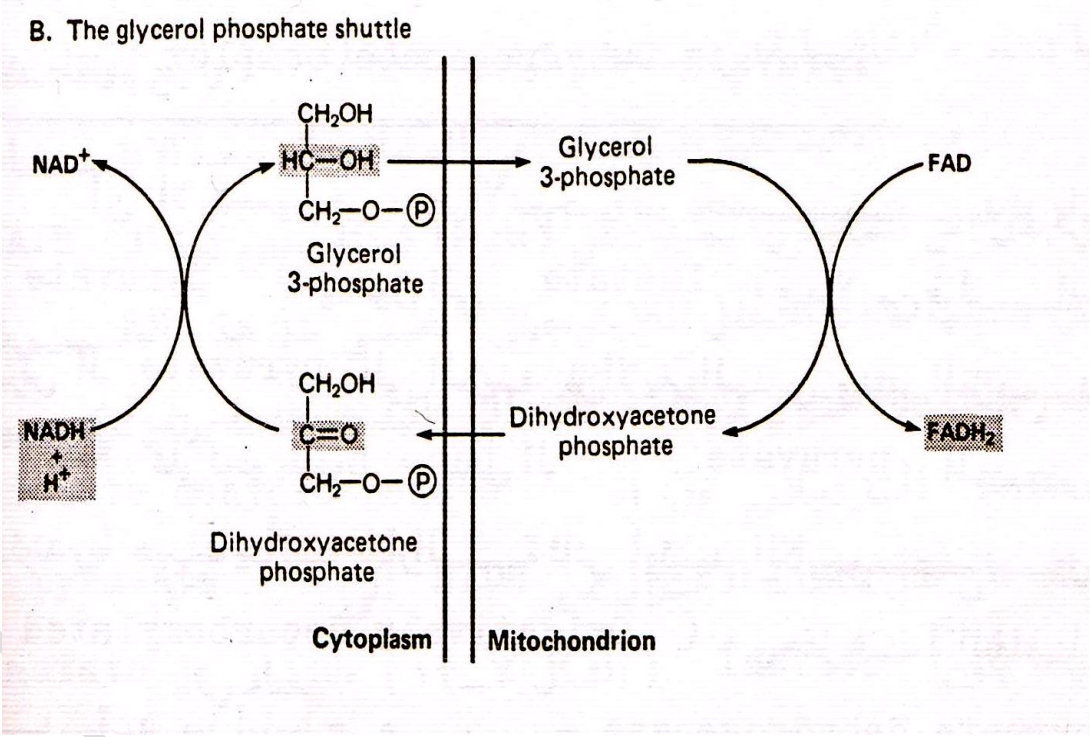


2- المسار الجانبي للكليسرول فوسفيت

المسار الثاني الذي تنتقل بوسطته القدرة الاختزالية $NADH+H^+$ المتكونة من عملية التحلل السكري في السايتوبلازم إلى داخل المايتوكوندريا لغرض تحرير الطاقة المتمثلة بجزيئات الـ ATP في السلسلة التنفسية.

ويتم هذا المسار في انسجة العضلات والدماغ (الشكل التالي)، ويتضمن انتقال الالكترونات من NADH الى ثاني هيدروكسي اسيتون فوسفيت الذي يختزل الى كليسرول 3-فوسفيت. ويدخل كليسرول 3- فوسفيت في المايتوكوندريا وتنتقل الكتروناته الى FAD^+ منتجاً $FADH_2$ وثاني هيدروكسي اسيتون. ويغادر ثاني هيدروكسي اسيتون المايتوكوندريا الى السايتوبلازم. ان الانسجة التي تستخدم مكوك كليسرول فوسفيت ينتج عنها جزيئتان من ATP عند اكسدة $FADH_2$ بوساطة السلسلة التنفسية والفسفرة التأكسدية.





$$NADH_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NAD^+ + H_2O + 3ATP$$

$$FADH_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow FAD^+ + H_2O + 2ATP$$

في عملية الانتقال الالكتروني في السلسلة التنفسية حيث تحدث عملية الفسفرة التأكسدية (وهي عملية انتقال الالكترونات من القدرة الاختزالية $NADPH + H^+$, $FADH_2$ إلى اوكسجين التنفس في المايتوكوندريا) والحقيقة هي عمليتين مترافقتين أحدهما باعث للطاقة $\Delta G = -Ve$ والآخر ماص للطاقة

$\Delta G = +Ve$

$NADH + H^+ + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NAD^+ + H_2O + \ldots..(1)\ \Delta G = -52.7$

$3ADP + 3Pi \rightarrow 3ATP \ldots\ldots\ldots (2)\ \Delta G = +21.9$

$NADH+H^+ +3ADP+3Pi+ \frac{1}{2} O_2 \rightarrow NAD^+ + H_2O +3ATP\ \Delta G = -30.8$

وهكذا تنتقل ذرات الهيدروجين من مصادر الغذاء المختلفة إلى O_2 التنفس.

إذن عدد جزيئات ATP الناتجة من التحلل السكري الهوائي (أي عندما تدخل جزيئتين من الـ $NADH + H^+$ إلى المايتوكوندريا) هي كالآتي:

الطور المستهلك	الطور المنتج
2ATP	4ATP $2NADH+H^+$ تعني (2×3ATP) 10 ATP
10 – 2 = 8 ATP	

مصير البايروفيت Fate of pyruvate:

1- تنفس هوائي Aerobic glycolysis

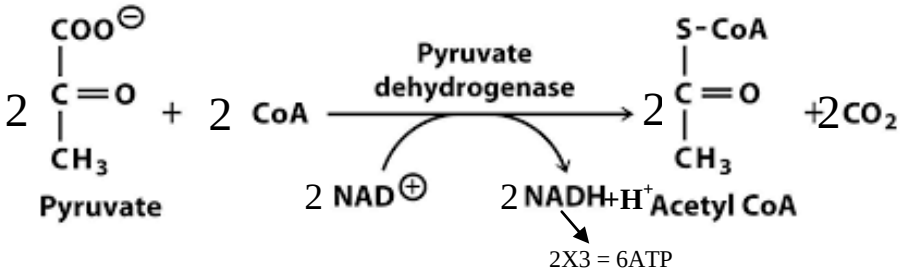
$$Glucose + 2ADP + 2Pi \xrightarrow[2NAD^+ \quad NADH+H^+]{\text{Cytosol}\ [o]} 2Pyruvate + 2ATP$$

يتم إعادة اكسدة مساعد الانزيم $NADH + H^+$ في السلسلة التنفسية والتي تحدث في المايتوكوندريا حيث تعطي ناتج (ثلاثة) جزيئات ATP لكل زوج هيدروجين محمول بواسطة (NAD^+) و (اثنان) من ATP لكل زوج هيدروجين محمول بواسطة (FAD^+)

$2NADH + H^+ = 2 \times 3 = 6$ ATP

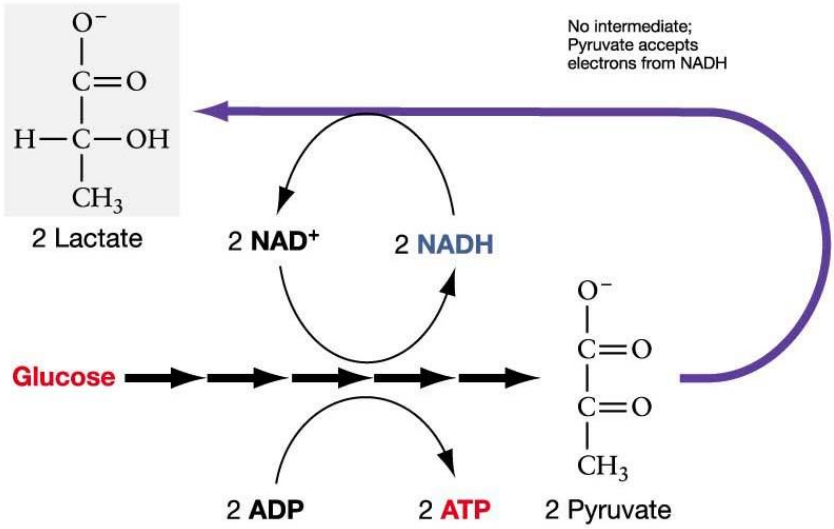
Hind Shakir Ahmed

A-



الـ Acetyl CoA يذهب إلى دورة كريبس (مفتاح دورة كريبس).

2- التنفس اللا هوائي Anaerobic glycolysis

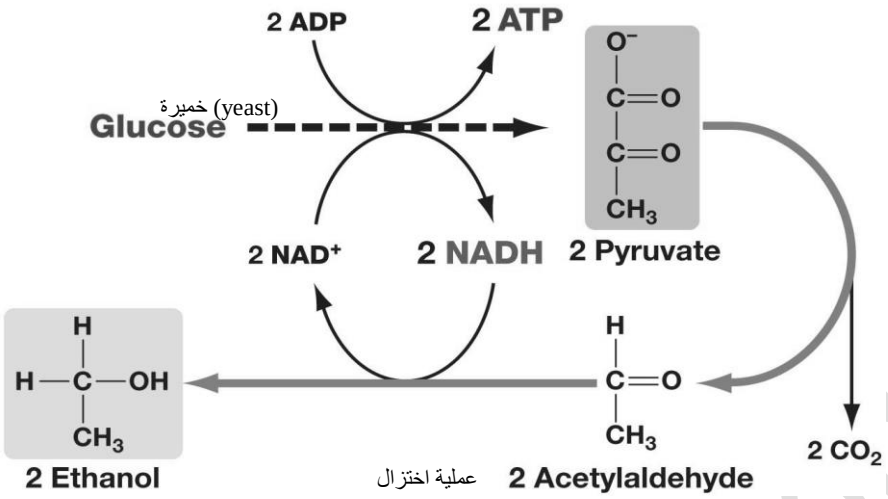


والانزيم المحفز لتحويل البايروفيت الى لاكتيت هو Lactate dehydrogenase (LDH) وربح الطاقة 2ATP.

تحدث هذه العملية في العضلات وعند قلة الأوكسجين وممارسة رياضة عنيفة كذلك تحدث في كريات الدم الحمراء (RBC) والبيضاء (WBC) لأن كريات الدم لا تحتوي على المايتوكوندريا.

3- التخمر الكحولي Alcohol Fermentation

تحدث هذه العملية في خلية الخميرة والبكتريا المعوية (Flora)، والانزيم المحفز لتحويل الاستيل الديهايد الى ايثانول هو Alcohol dehydrogenase وربح الطاقة 2ATP



4- تحويل البايروفيت إلى الانين Pyruvate to Alanine

يربط هذا التفاعل بين أيض الكاربوهيدرات وأيض الحوامض الأمينية

$$\text{Pyruvate} \xleftrightarrow[\text{Transferase}]{\text{Alanine amino}} \text{Alanine}$$

5- تحويل البايروفيت إلى اوكزالواسيتيت Pyruvate to oxaloacetate

يحدث في المايتوكوندريا ويحتاج إلى البايوتين.

$$\text{Pyruvate} \xleftrightarrow[\text{Biotin}]{\text{Pyruvate carboxylase}} \text{Oxaloacetate}$$

دخول السكريات الاحادية الى مسار التحلل السكري:

السكريات الثنائية تتحلل في الامعاء الدقيقة (انزيمياً) الى السكريات الاحادية

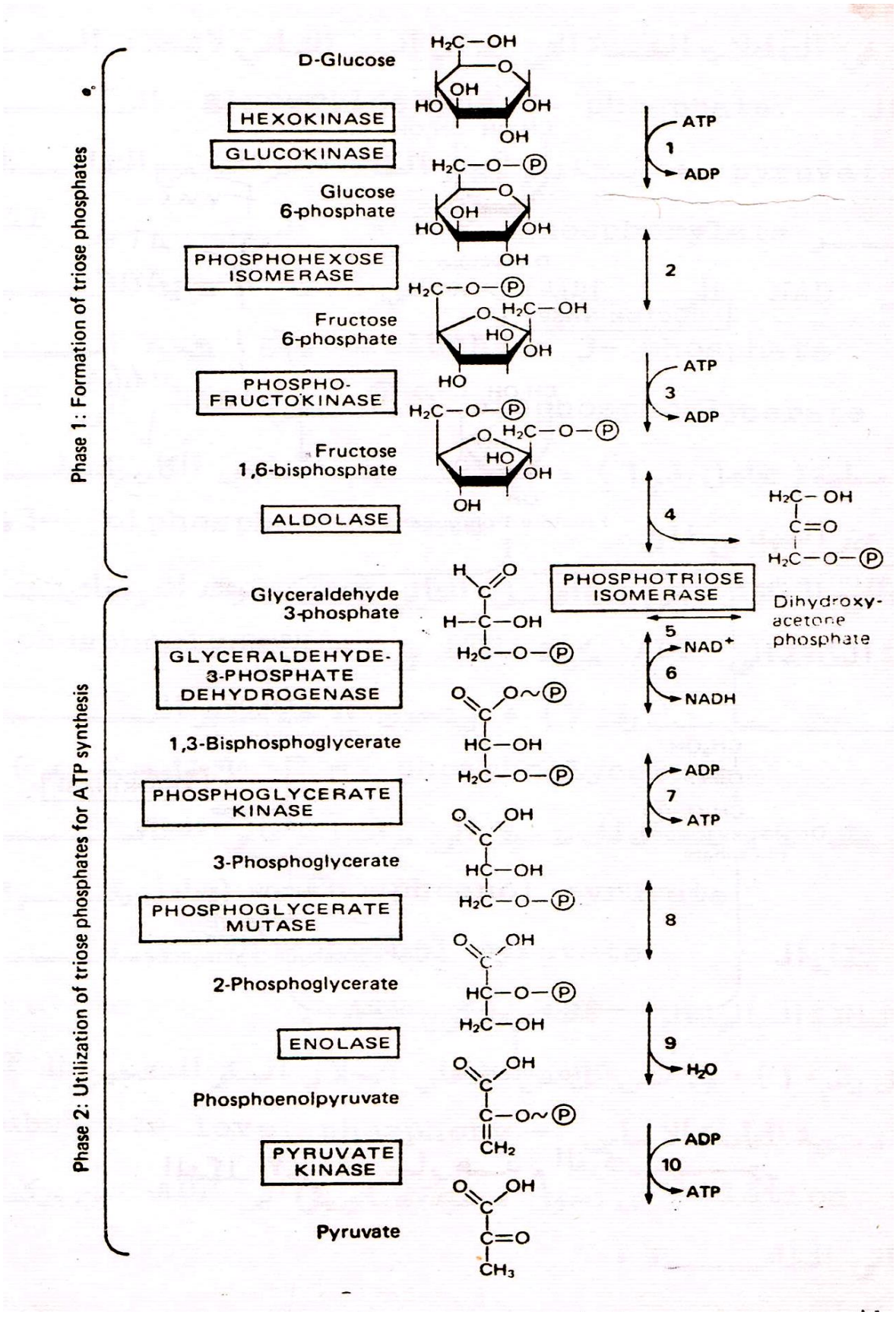
$$\text{Maltose} + H_2O \xrightarrow{\text{Maltase}} \text{Glucose} + \text{Glucose}$$

$$\text{Lactose} + H_2O \xrightarrow{\text{Lactase}} \text{Galactose} + \text{Glucose}$$

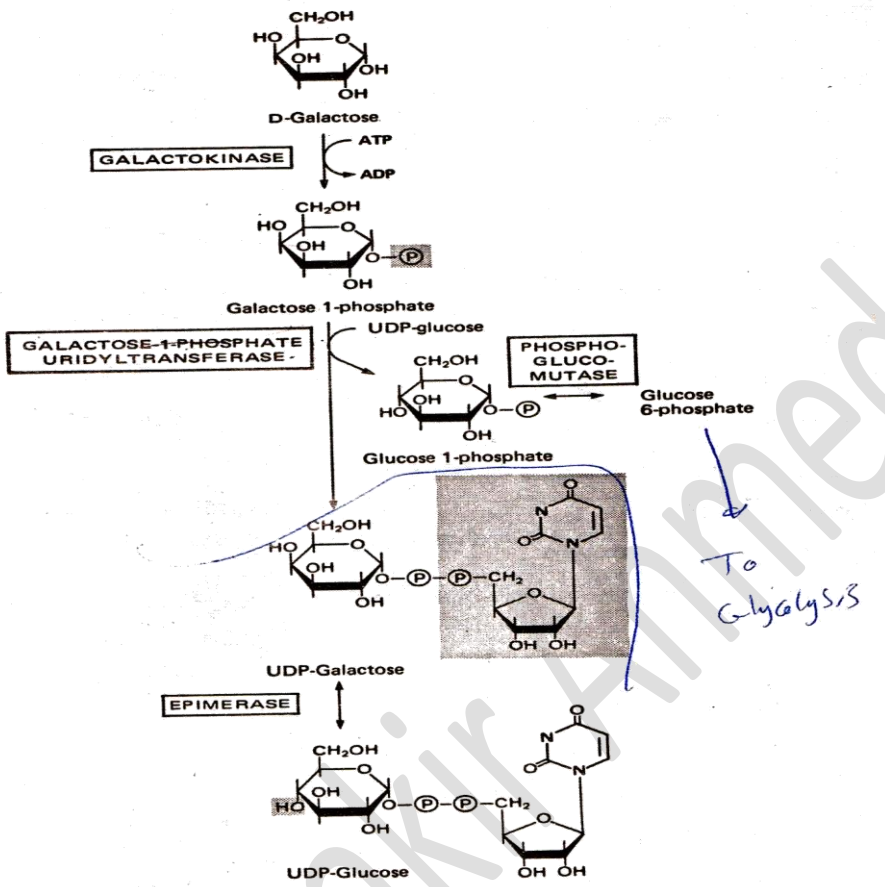
$$\text{Sucrose} + H_2O \xrightarrow{\text{Sucrase}} \text{Fructose} + \text{Glucose}$$

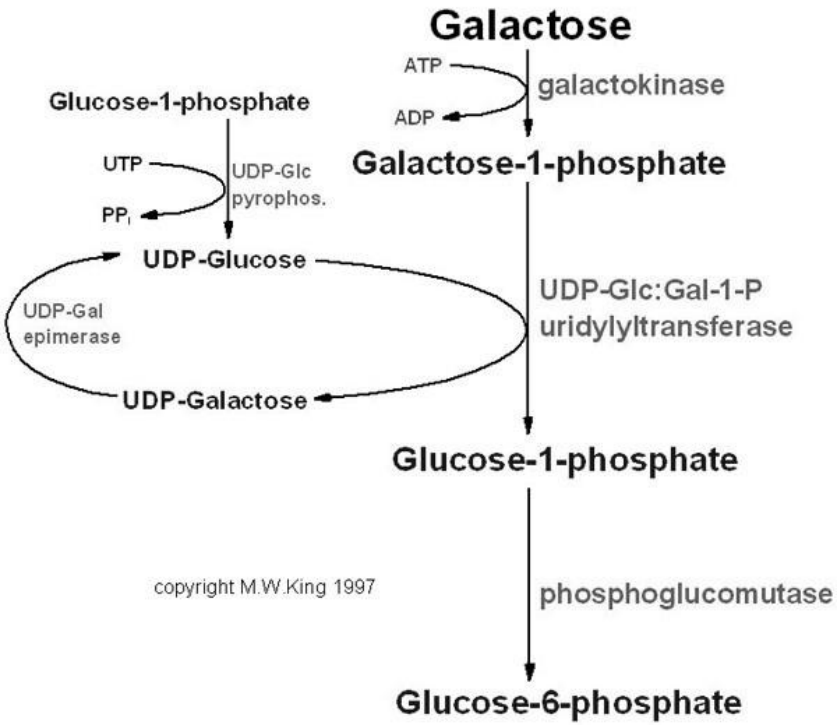
تتفسفر هذه السكريات الاحادية المتحللة من الثنائية في الكبد والتي هي (الكالكتوز والفركتوز والمانوز). بعد ذلك يتحولان الى احد المركبات الوسطية في مسار التحلل السكري للكلوكوز وبالتالي يكمل مسار التحلل السكري

Hind Shakir Ahmed


Phase 1: Formation of triose phosphates
Phase 2: Utilization of triose phosphates for ATP synthesis
D-Glucose
HEXOKINASE
GLUCOKINASE
Glucose 6-phosphate
PHOSPHOHEXOSE ISOMERASE
Fructose 6-phosphate
PHOSPHO-FRUCTOKINASE
Fructose 1,6-bisphosphate
ALDOLASE
Glyceraldehyde 3-phosphate
PHOSPHOTRIOSE ISOMERASE
Dihydroxy-acetone phosphate
GLYCERALDEHYDE-3-PHOSPHATE DEHYDROGENASE
1,3-Bisphosphoglycerate
PHOSPHOGLYCERATE KINASE
3-Phosphoglycerate
PHOSPHOGLYCERATE MUTASE
2-Phosphoglycerate
ENOLASE
Phosphoenolpyruvate
PYRUVATE KINASE
Pyruvate
ATP
ADP
NAD+
NADH
H2O

مسار تحلل الكالكتوز





Hind Shakir Ahmed

تتم فسفرة الكالكتوز المشتق من اللاكتوز بواسطة انزيم كالكتوكينيز (Galactokinase) في الموقع 1 كما في المعادلة التالية:

$$\text{D-Galactose} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{Galactokinase}} \text{D-Galactose-1P} + \text{ADP}$$

ويتحول الكالكتوز-1- فوسفيت الى كلوكوز-1- فوسفيت بواسطة مسار معقد يدخل فيه يوردين ثلاثي الفوسفيت Uridine triphosphate (UTP) كناقل لمجاميع الكلايكوسيل

$$\text{Galactose-1-P} + \text{UTP} \rightleftharpoons \text{UDP -Galactose} + \text{ppi}$$

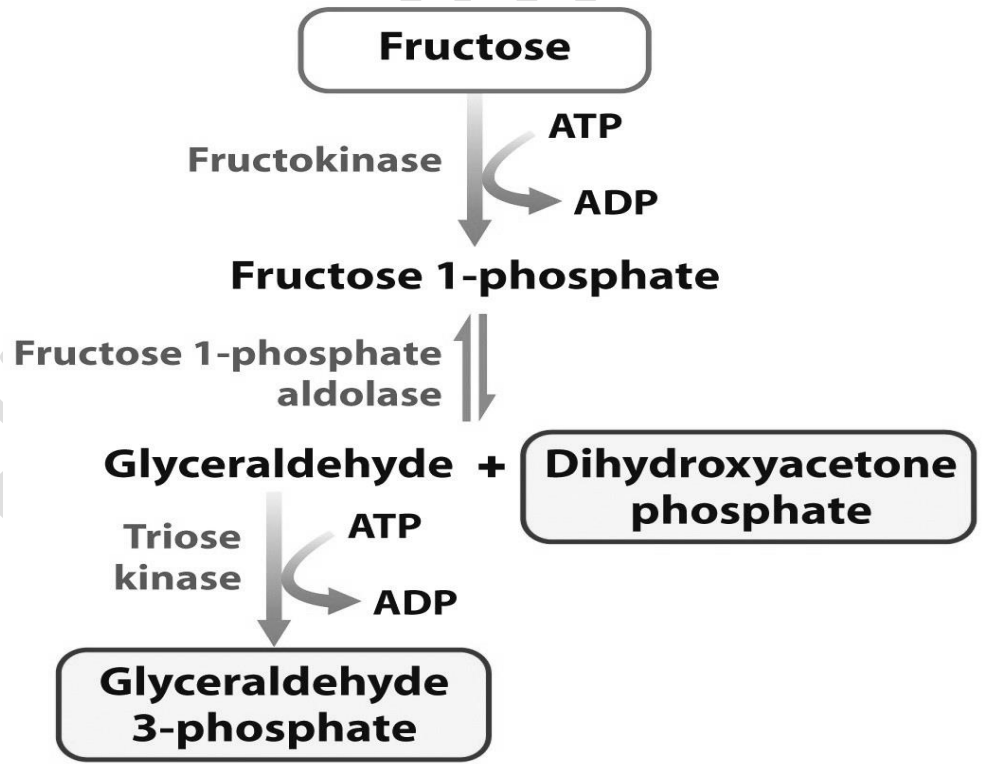
$$\text{UDP – Galactose} \rightleftharpoons \text{UDP – Glucose}$$

$$\text{UDP – Glucose} + \text{ppi} \rightleftharpoons \text{Glucose -1 P} + \text{UTP}$$

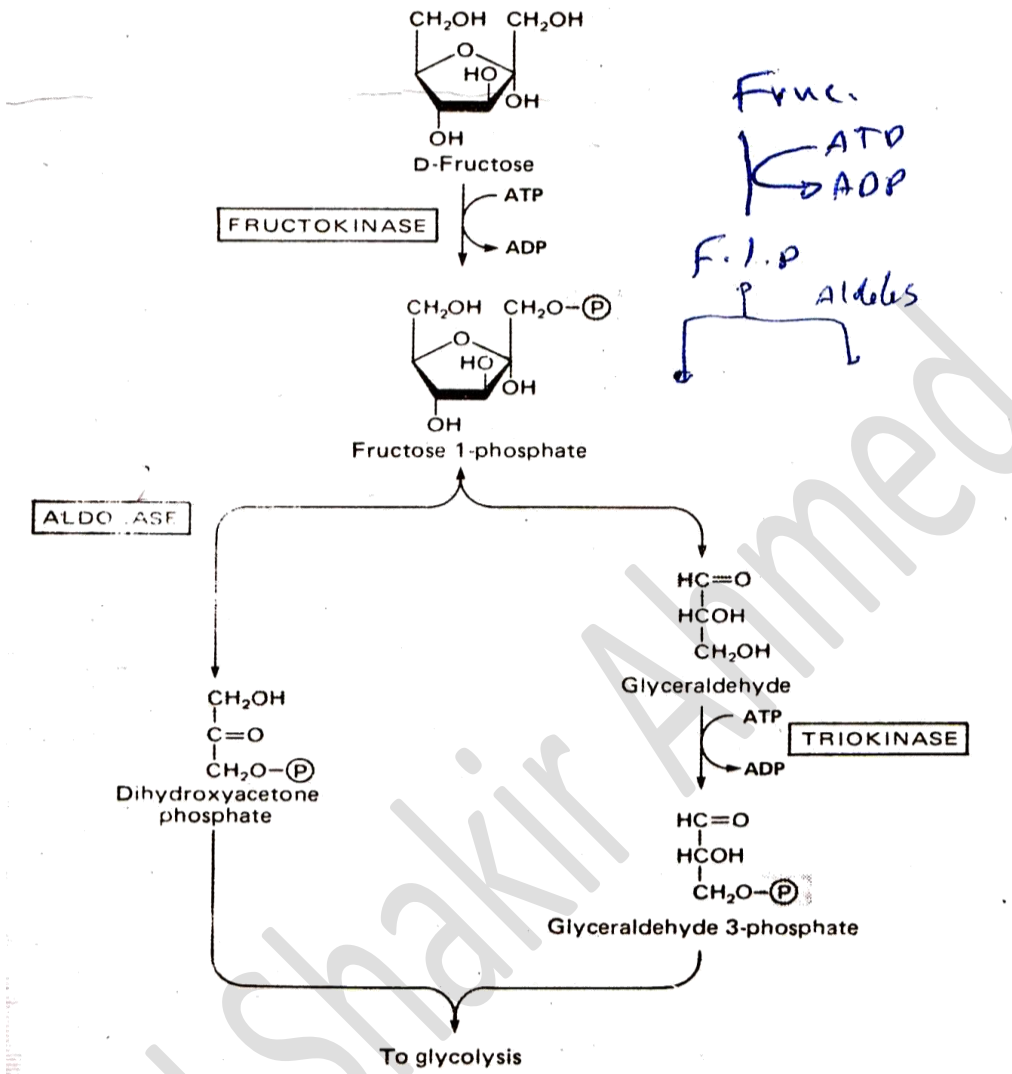
$$\text{Glucose-1-P} \rightleftharpoons \text{Glucose-6 P}$$

مسار تحلل الفركتوز:

$$\text{D-fructose} \xrightarrow[\text{Fructokinase}]{\text{ATP} \rightarrow \text{ADP}} \text{Fructose-1 phosphate}$$



Lubna Nasir Ahmed



مسار تحلل المانوز

تتم فسفرة المانوز في الموقع 6 وبفعل انزيم Hexokinase يعاني المانوز -6- فوسفيت تناظراً لينتج فركتوز-6- فوسفيت بفعل انزيم فوسفو مونو ايزومريز phosphomono isomerase

D-Mannose +ATP ⟶ D-Mannose-6 P + ADP

D-Mannose - 6 P ⟶ D-Fructose-6 P

Hind Shakir Ahmed