الحديد

يعد عنصر الحديد من أهم العناصر المعدنية في جسم الإنسان حيث يدخل في:

- تكوين الهيموغلوبين الذي يحمل الأوكسجين إلى الأنسجة ويأخذ ثاني أكسيد الكربون.
- تركيب البروتين الدموي Hemoprotein في العضلات Myoglobin.
- تركيب الأنزيمات التنفسية Respiratory Enzymes الموجودة في الميتوكوندريا الخلوية.

تصل كمية الحديد الموجودة في الجسم ككل إلى 4 غ/وزن 60 كغ، يدخل القسم الأكبر منها (70%) في تركيب الهيموغلوبين، بينما تحتوي البلازما على قسم صغير مرتبط بالبروتين الناقل للحديد الترانسفيرين Transferrin. يعمل بروتين الترانسفيرين على نقل الحديد بعد امتصاصه في الجهاز الهضمي إلى أماكن تخزينه، ومنها إلى أماكن احتياجه في الجسم. ويكون تخزين الحديد بشكلٍ رئيسي في الكبد، مرتبطاً ببروتين الفيريتين Ferritin داخل الخلايا.

يختلف مستوى الحديد الطبيعي في الدم قليلاً بين النساء والرجال:

عند الرجال	59 – 148 µg/dL
عند النساء	37 – 145 µg/dL

<u>يشاهد ارتفاع مستوى الحديد في الحالات التالية:</u>

1. انحلال الدم (تحطم الكريات الحمر) وجميع حالات فقر الدم المنجلي.
2. تكرار عمليات نقل الدم (كما في الثلاسيمية أو فقر الدم المنجلي).
3. فقر الدم اللاتنسجي Aplastic anemia.
4. التهاب أو تنخّر الكبد.
5. داء ترسب الأصبغة الدموية Hemochromatosis.

<u>يشاهد انخفاض مستوى الحديد في الحالات التالية:</u>

1. فقر الدم بعوز الحديد Iron deficiency anemia.
2. النزوف المزمنة أو الحادة.
3. نقص الوارد الغذائي من الحديد (نتيجة سوء التغذية أو نقص امتصاص الحديد).
4. أثناء الحمل.

القسم العملي:

مبدأ الاختبار:

يتفاعل الحديد الثلاثي مع Chromazurol B (CAB) و cetyltrimethylammonium bromide (CTMA) لتشكيل معقد ثلاثي ملون بامتصاص أعظمي عند 623 nm. إن كثافة اللون المتشكل متناسبة طرداً مع تركيز الحديد بالعينة المأخوذة.

يجري الاختبار على عينة مصل أو بلازما مأخوذة على مضاد التخثر الهيبارين، وترفض العينات المنحلة.

طريقة العمل:

	الناصع	العينة	العياري
العينة	----	50 µl	----
العياري	----	----	50 µl
ماء مقطر	50 µl	----	----
الكاشف	1000 µl	1000 µl	1000 µl

امزج واحضن في درجة حرارة الغرفة لمدة 15 دقائق تماماً (لأن التفاعل متزايد). قم بقياس الكثافة الضوئية للعينة والعياري مقابل الناصع عند طول موجة 623 نانومتر.

طريقة الحساب:

$$\text{Iron conc.} = \frac{\text{OD sample}}{\text{OD standard}} \times 100$$

طريقة اختبار أخرى:

في وسط حمضي يتحرر الحديد كلياً من الترانسفيرين بعد إرجاعه بواسطة هيدروكسيل أمين Hydroxylamine، ثم يتفاعل الحديد الناتج بشكلٍ نوعي مع Ferrozine ليشكل معقداً ملوناً يتناسب تركيزه طرداً مع تركيز الحديد في الوسط.

الكواشف:

- R1: يحتوي على الهيدروكسيل أمين في وسط حمضي.
- R2: يحتوي على Ferrozine.

طريقة العمل:

	ناصع العينة	العينة	العياري	الناصع
العينة	200 مكل	200 مكل	---	---
العياري	---	---	200 مكل	---
ماء مقطر	200 مكل	---	---	200 مكل
R1	1 مل	1 مل	1 مل	1 مل
R2	---	200 مكل	200 مكل	200 مكل

امزج واحضن في درجة حرارة الغرفة لمدة 5 دقائق تماماً (لأن التفاعل متزايد). قم بقياس الكثافة الضوئية لناصع العينة مقابل الماء المقطر، ومن ثم قياس الكثافة الضوئية للعينة والعياري مقابل الناصع عند طول موجة 560 نانومتر.

طريقة الحساب:

$$\text{Iron conc.} = \frac{\text{OD sample} - \text{OD sample blank}}{\text{OD standard}} \times \text{standard conc.}$$

البيليروبين

مقدمة:

البيليروبين مركب أصفر اللون ينتج عن استقلاب الهيم. ينشأ البيليروبين من خلال تأثير إنزيم البيليفيردين ريدوكتاز على البيليفيردين وهو مادة صباغية خضراء تنتج عن استقلاب الهيم.

يوجد البيليروبين في الدم بشكلين:

البيليروبين غير المرتبط (غير المباشر):

يتم التخلص من كريات الدم الحمراء الهرمة أو المتأذية في الطحال، مما يؤدي لتحرير الهيموغلوبين الذي يتفكك إلى هيم وغلوبين. يتفكك الغلوبين إلى حموض أمينية أما الهيم فيتحول إلى بيليروبين غير مرتبط غير منحل في الماء، يتم إرساله إلى الكبد مرتبطاً مع الألبومين.

البيليروبين المرتبط (المباشر):

يرتبط البيليروبين في الكبد مع جزيئة من حمض الغلوكورونيك بواسطة إنزيم الغلوكورونيل ترانسفيراز مما يجعله قابلاً للانحلال في الماء (البيليروبين المرتبط). يذهب قسم كبير منه إلى الصفراء ومنها إلى الأمعاء الدقيقة ثم إلى الكولون حيث تفككه البكتريا المعوية وتستقلبه إلى يوروبيلينوجين urobilinogen (عديم اللون) والذي قد يتأكسد إلى ستيركوبيلين الذي يعطي البراز اللون البني. يعاد امتصاص بعض من اليروبيلينوجين ليعاد إفرازه في الصفراء ويذهب جزء صغير منه إلى الكلية حيث يستقلب إلى مركب أصفر اللون هو اليوروبيلين الذي يطرح ويعطي البول لونه الأصفر.

القيم الطبيعية:

Total bilirubin	[mg/dl]
At birth up to: 5 days up to: 1 month up to: Adults up to:	5 12 1.5 1.1
Direct bilirubin	
Adults up to:	0.25

ملاحظة: تكون مستويات البيليروبين لدى حديثي الولادة أعلى من البالغين وتختلف حسب العمر بدءاً من الساعات الأولى حتى الشهر.

يشاهد ارتفاع البيليروبين في الدم:

- حالات انحلال الدم أو زيادة تحطم الكريات الحمر.
- الأمراض التي يحدث فيها أذيات كبدية مثل التهاب الكبد أو تليّف الكبد.
- التهاب المرارة.
- الحالات التي يحدث فيها تضيق أو انسداد الأقنية الصفراوية مثل: الحصيات المرارية أو الأورام.
- بعض المتلازمات الوراثية مثل متلازمة جيلبرت وهي اضطراب وراثي في استقلاب البيليروبين.
- تناول بعض الأدوية مثل: الأدوية النفسية والهرمونات الجنسية وبعض المضادات الحيوية.
- المعالجة الكيميائية.
- ارتفاع البيليروبين في الدم لدى حديثي الولادة حيث يكون الكبد غير قادر على استقلاب كامل البيليروبين مما يسبب اليرقان.

ومن أجل توضيح سبب حدوث اليرقان أو زيادة البيليروبين في الدم قد يكون من الضروري إجراء اختبارات كيميائية سريرية أخرى كوظائف الكبد مثل: إنزيمات الألانين والأسبارتات ترانسأميناز والفوسفاتاز القلوية والتحري عن وجود انحلال للدم أو التهاب كبد A,B,C ... إلخ.

اليرقان Jaundice

عندما يكون مستوى البيليروبين في الدم أكثر من 2.5 ملغ/دل يكون اليرقان واضحاً في العين، وفي حالة المستويات الأكثر من ذلك يكون اليرقان ظاهراً على الجلد. يصنف اليرقان أيضاً إلى مباشر وغير مباشر.

القسم العملي:

مبدأ الاختبار:

يمكن قياس مستويات البيليروبين الكلي والبيليروبين المباشر في الدم. يتم تحويل البيليروبين إلى آزوبيليروبين Azobilirubin ملوّن بتأثير ديآزوسلفانيليك أسيد diazotized sulfanilic acid، وتزداد شدة اللون الناتج بزيادة تركيز البيلروبين.

يتفاعل البيليروبين المباشر (المرتبط) بشكلٍ آني مع ديآزوسلفانيليك أسيد، ولكن البيليروبين غير المباشر (المرتبط بالألبومين) يحتاج لإضافة مسرع accelerator للتفاعل، حيث أنه غير منحل في الوسط المائي.

Sulphanilic acid + sodium nitrite ⟶ DSA

Bilirubin + DSA ⟶ DIRECT Azobilirubin

Bilirubin + DSA + accelerator ⟶ TOTAL Azobilirubin

الكواشف:

TBR Total bilirubin reagent	
Sulphanilic acid	14 mmol/l
Hydrochloric acid	300 mmol/l
Caffeine (accelerator)	200 mmol/l
Sodium benzoate	420 mmol/l
TNR T-Nitrite reagent	
For determination of total bilirubin	
Sodium nitrite	390 mmol/l
DBR Direct bilirubin reagent	
Sulphanilic acid	14 mmol/l
Hydrochloric acid	300 mmol/l
DNR D-Nitrite reagent	
For determination of direct bilirubin	
Sodium nitrite	25 mmol/l

يجرى الاختبار على المصل أو البلازما المأخوذة على مضاد التخثر الهيبارين. ترفض العينات المنحلة، كما يجب عدم تعريض العينة للضوء المباشر.

طريقة العمل:

البيليروبين الكلي

	ناصع العينة	العينة
TBR	1000 µl	1000 µl
TNR	----	1 drop*
امزج الكواشف واحضن في درجة حرارة الغرفة لمدة 5 دقائق		
العينة	100 µl	100 µl

امزج واحضن في درجة حرارة الغرفة لمدة 10 - 30 دقيقة. قم بقياس الكثافة الضوئية للعينة مقابل ناصع العينة عند طول موجة 546 نانومتر.

*1 drop ≈ 40 µl

البيليروبين المباشر

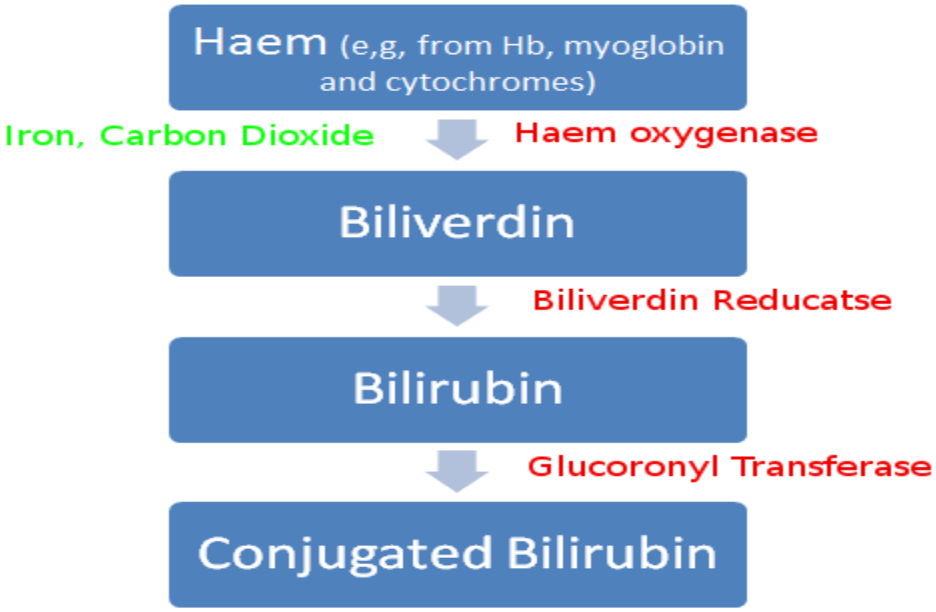
	ناصع العينة	العينة
DBR	1000 µl	1000 µl
DNR	----	1 drop*
امزج الكواشف واحضن في درجة حرارة الغرفة لمدة دقيقتين		
العينة	100 µl	100 µl

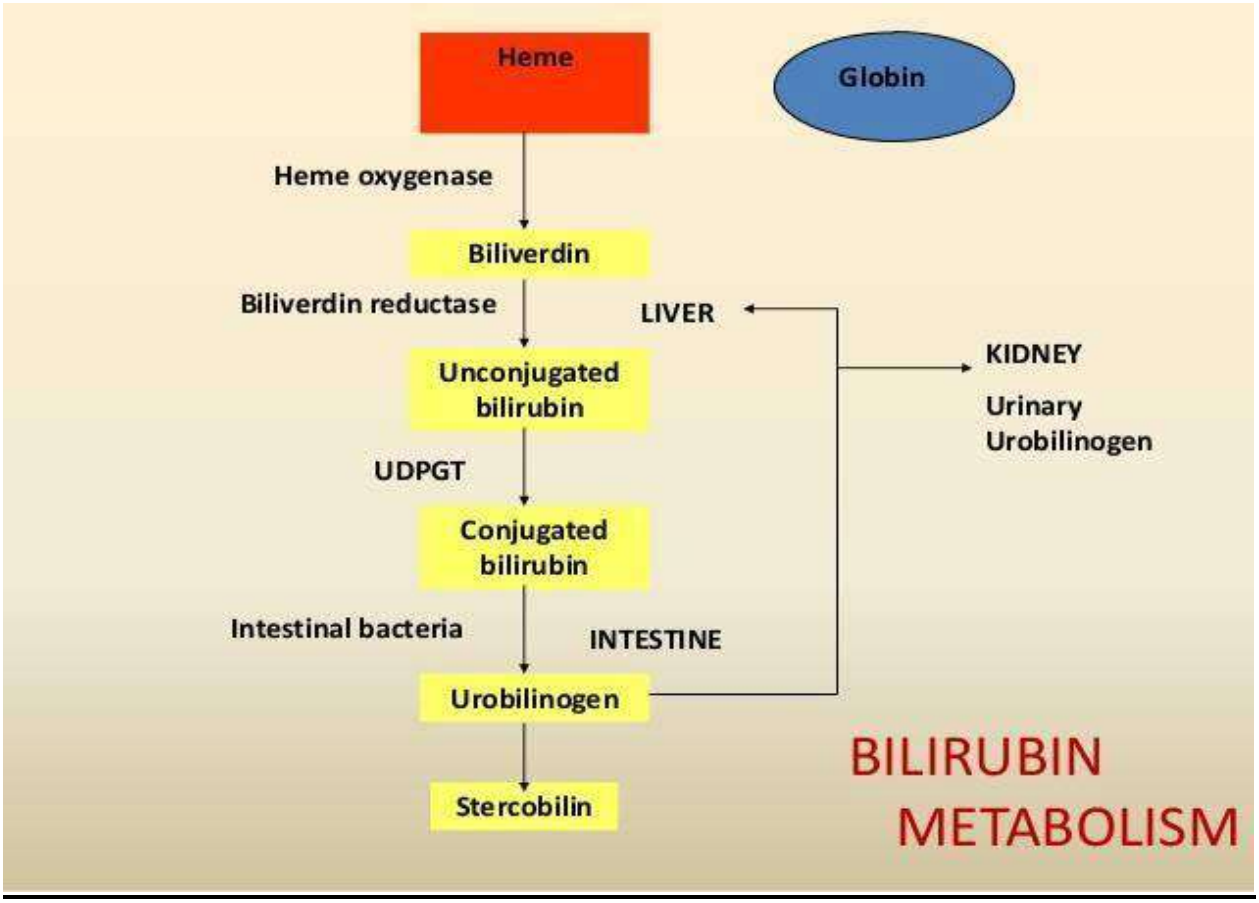
امزج واحضن في درجة حرارة الغرفة **لمدة 5 دقائق تماماً** (لأن التفاعل متزايد). قم بقياس الكثافة الضوئية للعينة مقابل ناصع العينة عند طول موجة 546 نانومتر.

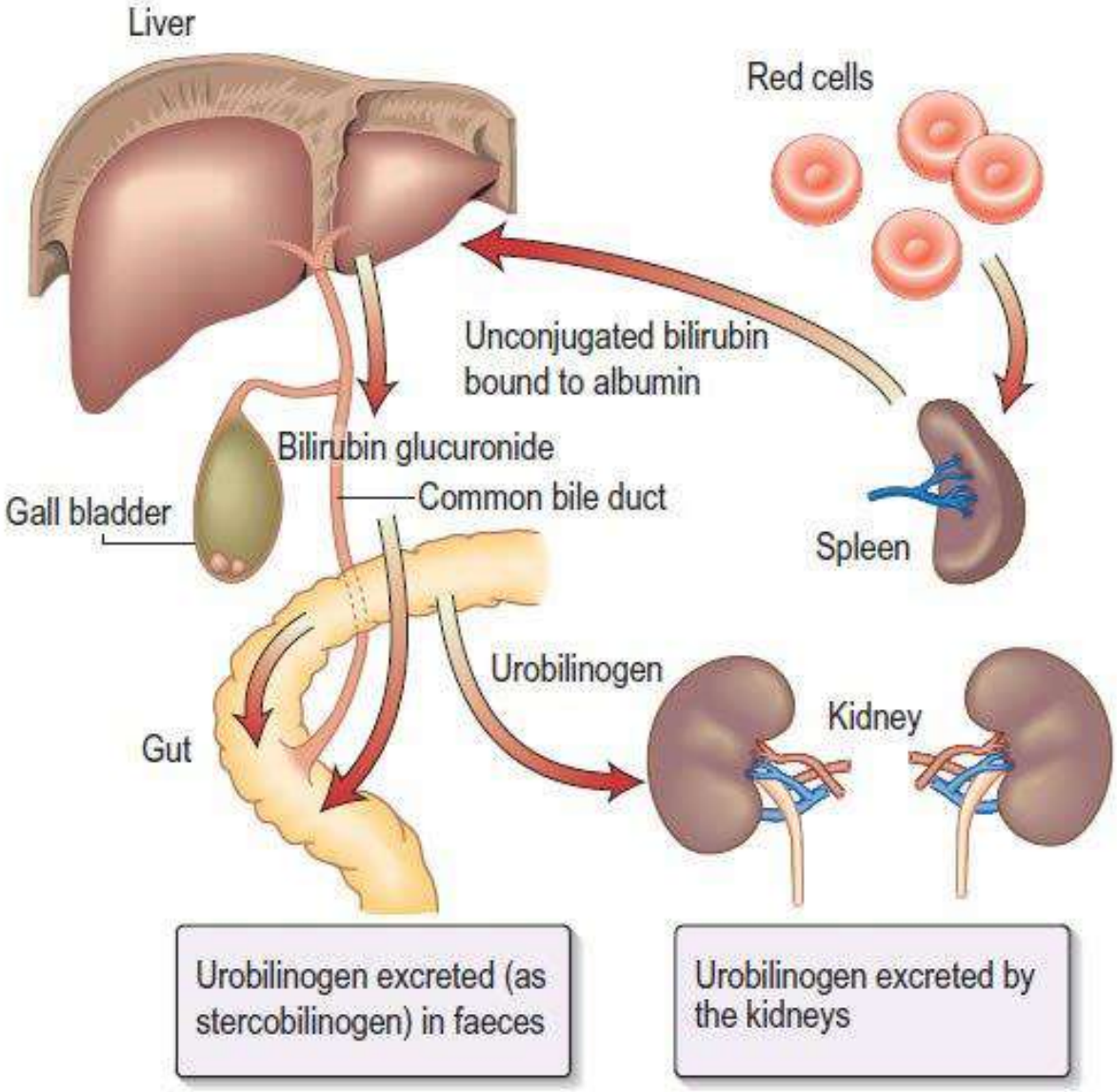
طريقة الحساب:

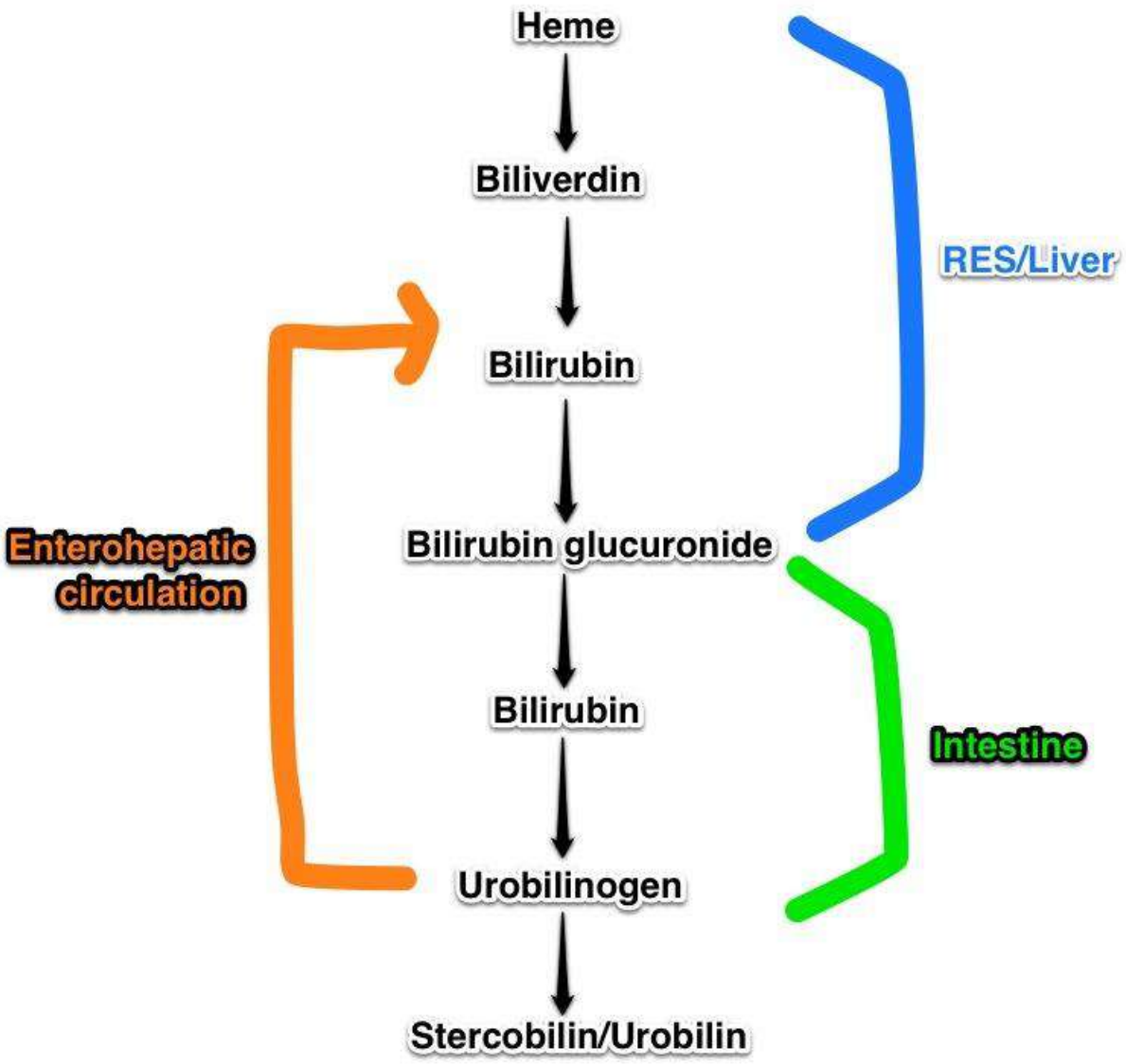
تركيز البيليروبين (ملغ/دل) = الكثافة الضوئية للعينة X FACTOR

حيث الـ FACTOR = 13


Haem (e,g, from Hb, myoglobin and cytochromes)
Iron, Carbon Dioxide
Haem oxygenase
Biliverdin
Biliverdin Reducatse
Bilirubin
Glucoronyl Transferase
Conjugated Bilirubin


Heme
Globin
Heme oxygenase
Biliverdin
Biliverdin reductase
LIVER
KIDNEY
Urinary Urobilinogen
Unconjugated bilirubin
UDPGT
Conjugated bilirubin
Intestinal bacteria
INTESTINE
Urobilinogen
Stercobilin
BILIRUBIN METABOLISM


Liver
Red cells
Unconjugated bilirubin
bound to albumin
Bilirubin glucuronide
Common bile duct
Gall bladder
Spleen
Urobilinogen
Kidney
Gut
Urobilinogen excreted (as stercobilinogen) in faeces
Urobilinogen excreted by the kidneys


Heme
Biliverdin
Bilirubin
Bilirubin glucuronide
Bilirubin
Urobilinogen
Stercobilin/Urobilin
RES/Liver
Intestine
Enterohepatic circulation

اختبارات وظائف الكلية

مقدمة:

تلعب بعض التحاليل المخبرية دوراً هاماً في تقييم الوظيفة الكلوية Kidney function في كثيرٍ من الأمراض التي تصيب الكلية، كما تساهم في متابعة مرضى الكلى والتنبؤ بإنذار الحالة المرضية لديهم.

البولة Urea

البولة أو الكارباميد هي مركب عضوي له الصيغة التالية: $CO(NH_2)_2$، أي أنها تحتوي على مجموعتي أمين مرتبطتين بمجموعة كاربونيل. إن البولة هي الناتج الرئيسي والنهائي لعمليات استقلاب البروتينات لدى الثدييات. وهي مادة عديمة اللون والرائحة تنحل في الماء، يتم من خلالها طرح الآزوت.

يتم اصطناع البولة في الكبد، حيث يتم في المرحلة الأولى اصطناع الأمونيا ومن ثم تحول في الكبد إلى البولة حيث تطرح عن طريق البول. إن تراكم الأمونيا يؤدي إلى ارتفاع pH داخل الخلايا إلى مستويات سمية. لذلك تقوم كثير من العضويات بتحويل الأمونيا إلى بولة، لأنها معتدلة نسبياً ومنحلة في الماء وتعتبر وسيلة لنقل وإطراح الآزوت الفائض. بعد ذلك تنحل البولة في الدم وتنتقل ويتم إطراحها بواسطة الكلية كأحد المكونات الرئيسية للبول. بالإضافة لذلك يتم إطراح نسبة قليلة من البولة مع التعرق.

بالإضافة إلى دور البولة كطارح للآزوت، فإنها تلعب دوراً هاماً في عملية عودة امتصاص الماء وبعض الشوارد الهامة من البول، حيث يؤدي إعادة امتصاص البولة إلى ازدياد الضغط الحلولي وبالتالي تحدث إعادة امتصاص للماء وبعض الشوارد. هذه الآلية هامة لمنع فقدان كميات كبيرة من الماء والمحافظة على الضغط الدموي وعلى تركيز شوارد الصوديوم في البلازما.

رغم أن مستوى البولة في الدم يعتبر مؤشراً غير حساس للوظيفة الكلوية، إلا أن سهولة القياس جعلته من الاختبارات الشائعة. تكمن عدم حساسية هذا الاختبار في أنه يجب أن يكون هنالك فقدان لأكثر من 50% من وظيفة الكبيبات الكلوية حتى يتأثر مستوى البولة في الدم، كما أن هنالك أسباباً كثيرة غير كلوية المنشأ يمكن أن تسبب ارتفاعاً في مستوى البولة في الدم، حيث يتأثر بكمية البروتينات الموجودة في الغذاء ومقدار السوائل في الجسم.

القيم الطبيعية:

في المصل 10 – 50 ملغ/دل

في البول 20 – 35 غ/بول 24 ساعة.

أسباب ارتفاع مستوى البولة في الدم:

- الالتهاب الكلوي الحاد والمزمن.
- القصور الكلوي.
- انسداد السبيل البولي.
- حالات التجفاف.
- التسمم بالزئبق وبعض الأملاح المعدنية الثقيلة الأخرى.

أسباب انخفاض مستوى البولة في الدم:

- أمراض الكبد المتقدمة (في هذه الحالة تتشكل مادة الأمونيا ويفشل الكبد في تحويلها إلى بولة بسبب الإصابة الكبدية، وبسبب السمية الشديدة للأمونيا يكون أثرها شديداً على المخ حيث يمكن أن تؤدي إلى شلل تام للمخ، وفي حالة شلل المخ الناتج من زيادة نسبة الأمونيا قد يدخل المريض في حالة غيبوبة Hepatic Coma قد تؤدي إلى الوفاة).
- الهزال Cachexia كما في حالات أمراض السل وسوء التغذية Malnutrition والمجاعة Starvation.

أسباب ارتفاع مستوى البولة في البول:

يزداد تركيز البولة في البول عند تناول وجبات غنية بالبروتينات، وفي الحالات المصاحبة لزيادة هدم البروتينات في الجسم مثل: الحمى ومرض السكري غير المعالج وفرط نشاط الغدة الدرقية.

أسباب انخفاض مستوى البولة في البول:

تقل نسبة البولة في البول عند تناول وجبات فقيرة بالبروتينات، وفي حالات بناء البروتينات مثل: الحمل والرضاعة، وفي حالات الفشل الكبدي والفشل الكلوي.

القسم العملي:

مبدأ الاختبار:

تتم إماهة البولة بواسطة اليورياز إلى أمونيا وثاني أكسيد الكربون:

$$Urea + H_2O \xrightarrow{urease} 2NH_3 + Co_2$$

تتفاعل الأمونيا الناتجة مع الهيبوكلوريت والساليسيلات لتشكيل معقد ذي لون أخضر تتناسب شدته مع تركيز البولة.

الكواشف:

RGT1 Reagent 1	
Phosphate buffer (pH 7.0)	120 mmol/l
Sodium salicylate	60 mmol/l
Sodium nitroprusside	5 mmol/l
EDTA	1 mmol/l
RGT2 Reagent 2	
Phosphate buffer (pH< 13)	120 mmol/l
Hypochlorite	≈ 0.6 g/l
ENZ Enzyme	
Urease	>500 KU/l

يجرى الاختبار على المصل أو البلازما المأخوذة على مضاد التخثر الهيبارين. أو البول الممدد بالماء المقطر بنسبة 100/1.

طريقة العمل:

	الناصع	العياري	العينة
العياري	----	10 µl	----
المصل	----	----	10 µl
RGT1	1000 µl	1000 µl	1000 µl
امزج جيداً واحضن لمدة 5 دقائق في درجة حرارة الغرفة أو 3 دقائق بالدرجة 37ºم			
RGT2	1000 µl	1000 µl	1000 µl

امزج واحضن لمدة 10 دقائق في درجة حرارة الغرفة، أو 5 دقائق بالدرجة 37ºم. قم بقياس الكثافة الضوئية للعينة والعياري مقابل الناصع عند طول موجة 578 نانومتر.

طريقة الحساب:

تركيز البولة في المصل أو البلازما (ملغ/دل) = الكثافة الضوئية للعينة X FACTOR

الكثافة الضوئية للعياري

حيث الـ FACTOR = 80 ملغ/دل بالنسبة لحساب تركيز البولة في المصل أو البلازما.

ويكون الـ FACTOR = 80.8 غ/ل بالنسبة لحساب تركيز البولة في البول.

اختبارات وظائف الكلية

مقدمة:

تلعب بعض التحاليل المخبرية دوراً هاماً في تقييم الوظيفة الكلوية Kidney function في كثيرٍ من الأمراض التي تصيب الكلية، كما تساهم في متابعة مرضى الكلى والتنبؤ بإنذار الحالة المرضية لديهم.

الكرياتينين Creatinine

الكرياتينين هو ناتج مشتق عن استقلاب فوسفات الكرياتين الموجود في العضلات (الكرياتينين هو بلا ماء الكرياتين).

يتم اصطناع الكرياتين في الكبد ثم ينتقل بواسطة الدم إلى الدماغ والعضلات حيث يخضع لتفاعل فسفرة ليتحول إلى فوسفوكرياتين. نتيجة استقلاب الكرياتين والفوسفوكرياتين يتكون الكرياتينين.

تتم تصفية الكرياتينين من الدم بشكلٍ رئيسي بواسطة الكليتين من خلال الترشيح الكبيبي Glomerular filtration وقد يحدث أيضاً بواسطة الإفراز النبيبي القريب، لكن لا تحدث عودة امتصاص للكرياتينين في النبيبات (أو قد يتم ولكن بتراكيز قليلة). في حال وجود خلل في وظيفة الترشيح الكلوي يرتفع مستوى الكرياتينين في الدم. لذلك يمكن استخدام مستوى الكرياتينين في الدم لتقدير وظيفة الارتشاح الكلوي.

يعتبر قياس الكرياتينين مؤشراً أكثر حساسية لسلامة وظيفة الكلية من قياس البولة ويعتبر المقياس الأمثل لاختبار وظيفة الكلية. يتناسب تركيزه في الدم والبول تناسباً طردياً مع حجم الكتلة العضلية في الجسم ويمكن أن يزداد عند تناول اللحوم المطبوخة.

القيم الطبيعية:

في المصل: الذكور 0.6 – 1.1 ملغ/دل

الإناث 0.5 – 0.9 ملغ/دل

في البول: 1 – 1.5 غ/بول 24 ساعة.

قد ينتج ازدياد مستوى الكرياتينين في الدم عن:

- حالات القصور الكلوي الحاد والمزمن.
- انسداد السبيل البولي.

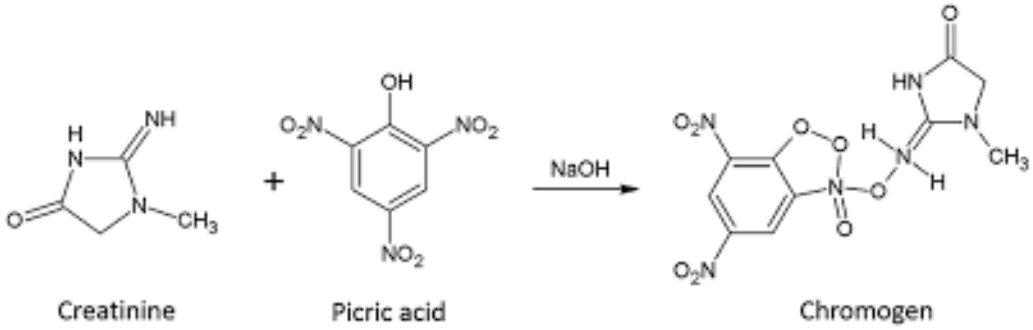
أما مستويات الكرياتينين الأقل من 0.5 ملغ/دل فليس لها أي أهمية تشخيصية.

القسم العملي:

مبدأ الاختبار (تفاعل جافيه Jaffé – Reaction):

يشكل الكرياتينين في محلول قلوي لحمض المر معقداً لونياً تزداد شدة لونه بزيادة التركيز. يتم استخدام الطريقة الحركية في قياس سرعة تشكل المعقد وذلك بإجراء قياسين لشدة اللون المتشكل بفاصل زمني ثابت ودقيق مقارنةً مع محلول عياري، ويستخدم في حساب التركيز فرق الكثافة الضوئية بين لحظتي القياس. تستخدم المعايرة الحركية للتقليل من تأثير البيليروبين والغلوكوز.

Creatinine + Picric acid ⟶ Creatinine – picrate complex



الكواشف:

PIC Picric Acid	**26 mmol/l**
NaOH Sodium Hydroxide	**1.6 mol/l**

يجرى الاختبار على المصل أو البلازما المأخوذة على مضاد التخثر الهيبارين. أو البول الممدد بالماء المقطر بنسبة 50/1.

يبقى الكرياتينين ثابتاً في المصل أو البلازما لمدة 24 ساعة في الدرجة 2-8 °م.

طريقة العمل:

طول الموجة	492 نم
المحفد	مسار الضوء 1 سم
القياس	مقابل الناصع
درجة الحرارة	25° - 37°م
الطريقة	حركية - متزايدة

	الناصع	**العياري**	**العينة**
العياري	----	100 µl	----
المصل	----	----	100 µl
كاشف العمل	1000 µl	1000 µl	1000 µl

امزج وبعد 30 ثانية اقرأ الامتصاص A1 وبعد **<u>دقيقتين تماماً</u>** اقرأ الامتصاص A2.

$A2 - A1 = \Delta A_{Sample}$ or ΔA_{STD}

طريقة الحساب:

تركيز الكرياتينين في المصل أو البلازما (ملغ/دل) = $\frac{\Delta A \text{ للعينة}}{\Delta A \text{ للعياري}} \times 2$

Creatinine Physiology

Production
- Dietary
- Biosynthesis
  - •Liver
  - •Kidney

Bloodstream

Creatine

Active transport of creatine into muscle cell

ATP ADP

Phospho-creatine

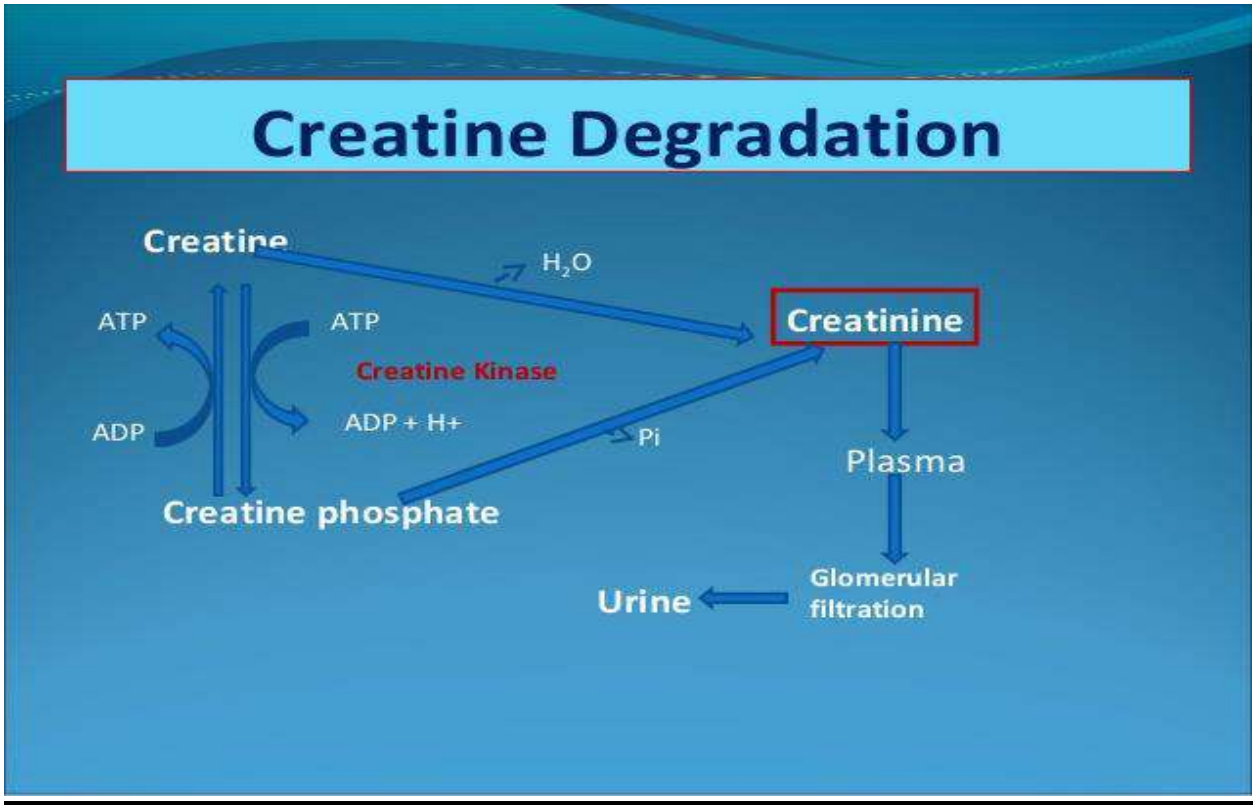
Creatine Kinase

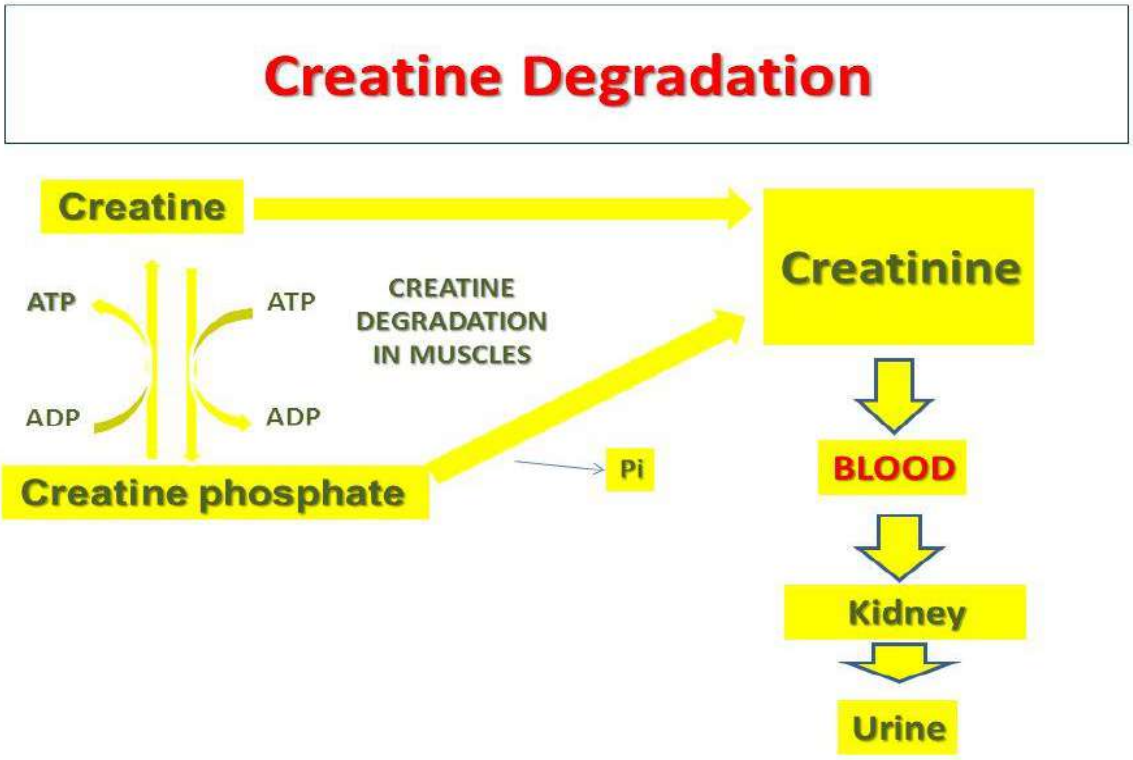
Creatinine

Excretion
- •Urine
- •Stool

Dehydration of creatine to creatinine: Physiochemical, non-enzymatic

6


Creatine Degradation
Creatine
H_2O
ATP
ATP
Creatine Kinase
ADP
ADP + H+
Pi
Creatinine
Plasma
Creatine phosphate
Glomerular filtration
Urine


Creatine Degradation
Creatine
ATP
ATP
CREATINE DEGRADATION IN MUSCLES
ADP
ADP
Creatine phosphate
Pi
Creatinine
BLOOD
Kidney
Urine

البروتين الكلي

مقدمة:

يتركب المصل من محلول مركز بالبروتين (72 غ/ل) بينما تكون القيمة في البلازما 75 غ/ل، وذلك ناتج عن وجود الفيبرينوجين وعوامل التخثر. تختلف البرويتنات المصلية فيما بينها بالحجم والتركيب الكيميائي وفي مصدرها ودورها البيلوجي، إلا أن أشهرها وأكثرها نسبةً في الدم: الألبومين Albumin، الغلوبولين Globulin والفيبرينوجين Fibrinogen، وعدد كبير من الأنزيمات.

أمثلة عن وظائف بروتينات الدم:

- الألبومين: يحافظ على الضغط الحلولي في الجسم.
- الألبومين: يساعد على حمل ونقل بعض المركبات مثل الحديد والنحاس والكالسيوم وعدد من الهرمونات مثل الإلتروكسين.
- الغلوبولينات المناعية: تعمل كأجسام مناعية ضد الجراثيم المختلفة.
- الفيبرينوجين: يساعد على تكوّن الجلطة الدموية وإيقاف النزف.

المعدل الطبيعي لبروتينات الدم	6 – 8 غ/دل.
المعدل الطبيعي للألبومين في الدم	5.5 – 6.5 غ/دل.
المعدل الطبيعي للغلوبولين	2 – 6.3 ملغ/مل.
المعدل الطبيعي للفيبرينوجين	0.2 – 0.6 ملغ/مل.

تزداد البروتينات الكلية في:

1. حالات التجفاف.
2. بعض الأمراض المناعية.
3. الأورام.
4. الالتهابات.

تنقص البروتينات الكلية في:

1. الأطفال المولودين قبل تمام الحمل.
2. احتباس السوائل نتيجة أمراض قلبية.
3. الحروق.
4. سوء التغذية.
5. التشمع الكبدي.
6. أمراض الكلية.
7. الحمل.

تتشارك أعراض النقص والزيادة لكل من الألبومين والبروتينات الكلية باعتباره البروتين الرئيسي في الجسم. بينما نلاحظ **زيادة الغلوبولين في الحالات التالية**:

1. الالتهابات.
2. الأورام.
3. أمراض الجهاز اللمفاوي.
4. أمراض الجهاز المناعي.

وينقص الغلوبولين في:

1. أمراض سرطان الدم اللمفاوي.
2. أمراض الكبد.
3. أمراض الافتقار للغاماغلوبولين الورائية والمكتسبة.

أما الفيبرينوجين فهو يتكون في الكبد ويعتبر من أهم العوامل اللازمة لتخثر الدم، حيث يتحول إلى الفيبرين. يتم قياسه فقط في البلازما حيث لا يحدث التخثر، عكس ما يحدث في المصل الذي لا يحتوي على الفيبرينوجين.

تحدث زيادة الفيبرينوجين في:

1. الإنتانات الحادة.
2. أمراض المناعة الذاتية الالتهابية كالتهاب المفاصل الروماتويدي.
3. السرطانات.

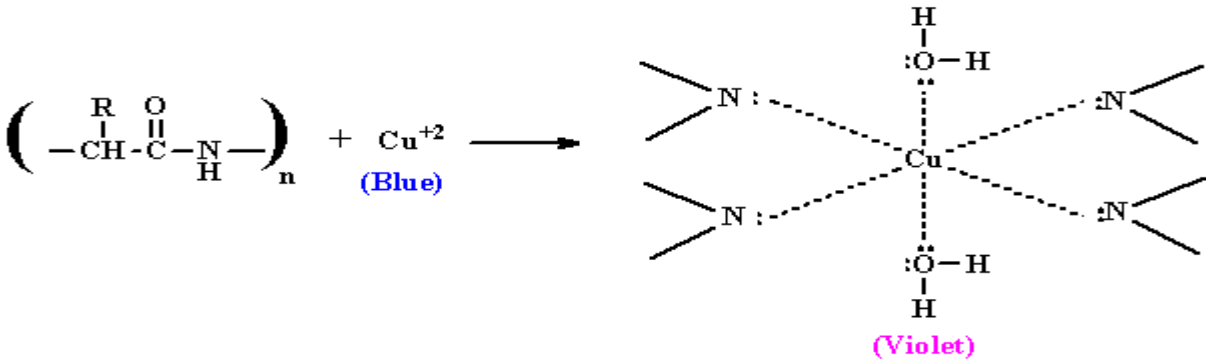
يحدث نقص الفيبرينوجين في:

1. حالات التخثر المنتشر داخل الأوعية Disseminated Intravascular Coagulation (DIC).
2. أمراض الكبد المتقدمة.

القسم العملي:

مبدأ الاختبار :

تتفاعل شوارد النحاس في كاشف بيوريت Biuret reagent مع الروابط الببتيدية في جزيئات البروتين وتعطي لوناً بنفسجياً يتأثر بزيادة أو نقصان كمية البروتين الكلية.



الكواشف:

RGT Colour reagent	
Sodium hydroxide	**200 mmol/l**
Potassium sodium tartrate	**32 mmol/l**
Copper sulfate	**12 mmol/l**
Potassium iodide	**30 mmol/l**
STD Sandard	
Protein	**8 g/dl**

يجرى الاختبار على المصل أو البلازما المأخوذة على مضاد التخثر الهيبارين.

طريقة العمل:

	الناصع	العياري	العينة
العياري	----	20 µl	----
المصل	----	----	20 µl
كاشف العمل	1000 µl	1000 µl	1000 µl

امزج واحضن في درجة حرارة الغرفة لمدة 10 دقائق، ثم اضبط صفر الجهاز على محلول الناصع. قس الكثافة الضوئية OD (Optical Density) للعياري ثم الكثافة الضوئية للعينة خلال نصف ساعة، وذلك بعد ضبط مقياس الطيف الضوئي على طول الموجة 546nm.

طريقة الحساب:

$$\text{تركيز العينة (غ/دل)} = \frac{A \text{ للعينة}}{A \text{ للعياري}} \times 8$$

الفيتامينات

مقدمة:

الفيتامينات هي مركبات عضوية تتواجد بكميات ضئيلة في الغذاء (تقاس بـ ملغم وميكروغرام)، وهي ضرورية تحتاج لها العضوية بكميات محددة، تمتلك وظائف تتعلق بالتنظيم والمحافظة على الحياة والنمو الطبيعيين. تحتوي جميع الفيتامينات على جزيئات الكربون والهيدروجين والأوكسجين، كما تحتوي بعضها على جزيئات النيتروجين وأخرى على الكبريت والكوبالت. لا تستطيع العضوية عادةً اصطناع الفيتامينات، أو تصطنعها بكميات غير كافية، لذلك يجب أن تتوفر في الغذاء.

تتواجد بعض الفيتامينات بشكلها النهائي الفعال في المنتجات الغذائية النباتية والحيوانية، أي أنها تكون جاهزة لأداء وظيفتها الحيوية في الجسم. أما البعض الآخر فيتواجد في النباتات على هيئة طلائع، أي أنها تحتاج تحول كيميائي إلى شكلها الفعال لتكون جاهزة للفعالية الحيوية. مثالاً على ذلك الكاروتين، وهو طليعة فيتامين A (بروفيتامين A).

تدعى الحالة المرضية الناتجة عن عوز الفيتامينات بـ avitaminosis. أما تناول بعض الفيتامينات المنحلة في الدسم بكثرة فيؤدي إلى تراكمها في الجسم والوصول إلى درجة سمية تدعى hypervitaminosis.

تصنيف الفيتامينات:

تصنف الفيتامينات وفقاً لانحلاليتها إلى فيتامينات منحلة في الدسم وأخرى منحلة في الماء.

1) **الفيتامينات المنحلة في الدسم:**
الفيتامينات الأربعة المنحلة في الدسم هي فيتامين A و D و E و K. يعتمد تواجدها في اللقمة الطعامية وامتصاصها وانتقالها في الجسم على وجود الدسم، فهي منحلة في مختلف أنواع الدهون والزيوت ومحلاتها. تُختزن هذه الفيتامينات في الكبد والنسج الشحمية، ولا يتم إطراحها بشكلٍ مباشر في البول. يؤدي الاستهلاك الزائد لهذه الفيتامينات إلى تراكمها مما يعطي تأثيرات سميّة.
2) **الفيتامينات المنحلة في الماء:**
تشكل الفيتامينات المنحلة في الماء مجموعة مختلطة من المركبات الكيميائية، تختلف في التركيب عن بعضها البعض. تكمن الصفة الوحيدة المشتركة فيما بينها في انحلاليتها بالماء. تطرح معظمها في البول مباشرةً وبالتالي فهي لا تتراكم ولا تختزن بكميات كبيرة في الجسم ولا تسبب أي سمية. ولذات السبب يجب أن تتوفر هذه الفيتامينات بشكلٍ مستمر في النظام الغذائي.

طرق كشف الفيتامينات:

يتم كشف هوية الفيتامينات بطرقٍ تعتمد على خواصها، حيث يمكن كشف بعضها بطرق المعايرة اللونية البسيطة، في حين تحتاج أخرى لطرق كشف أكثر تعقيداً كالاستشراب السائل رفيع الإنجاز HPLC متبوعاً بالكشف بمقياس الطيف الضوئي أو مقياس التألق. تتوفر أيضاً طرق تعتمد على الأحياء الدقيقة لكشف حمض الفوليك وحمض البانتوثينيك.

القسم العملي:

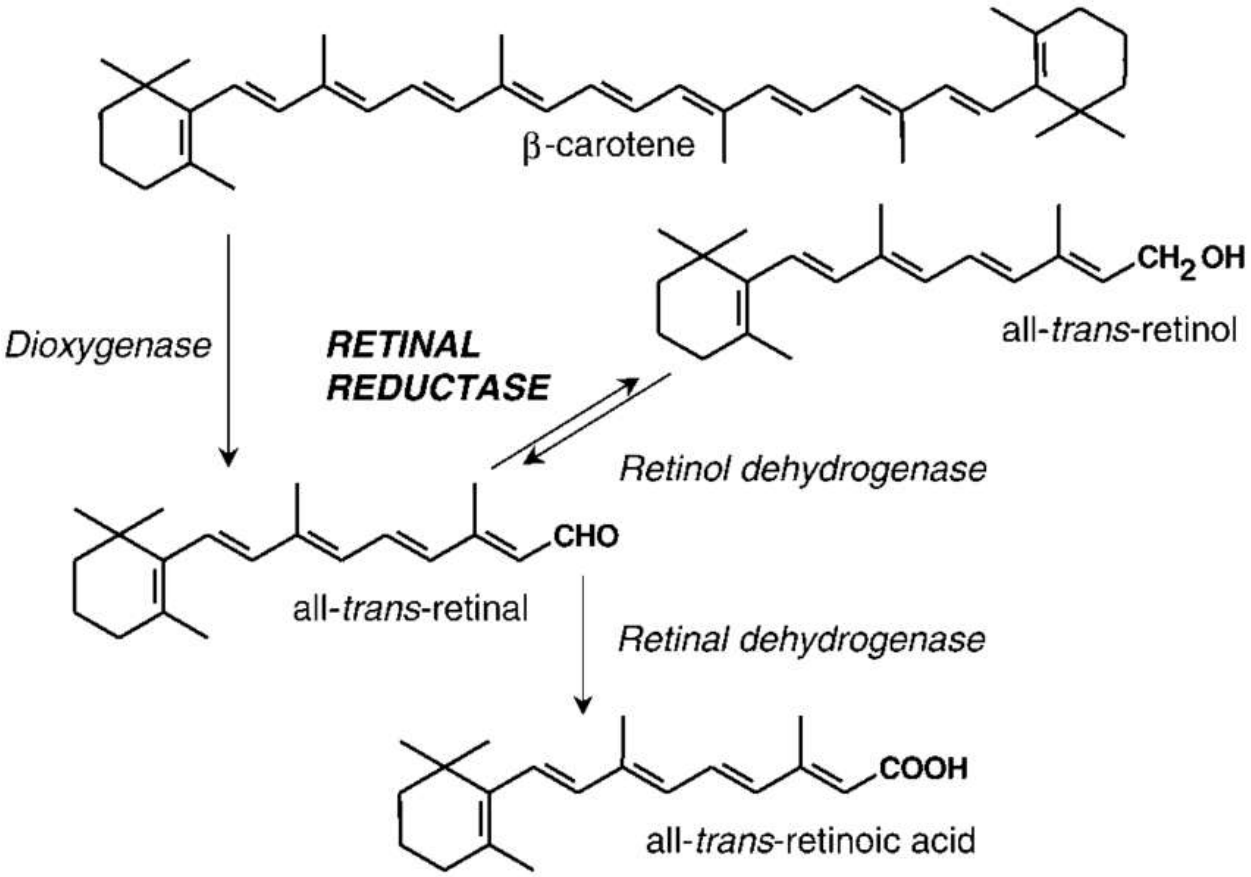
فيتامين A

مقدمة:

فيتامين A من الفيتامينات المنحلة في الدسم، وينقسم إلى نوعين بحسب مصدره الغذائي (نباتي أو حيواني). فيتامين A المتواجد في المنتجات الغذائية الحيوانية يكون بشكله الفعال، حيث يتم امتصاصه على شكل ريتينول، وهو أكثر الأشكال فعالية من الفيتامين A. تتضمن مصادره الحيوانية (الكبد والحليب وبعض المنتجات الغذائية). يمكن أن يتحول الريتينول إلى ريتينال وحمض الريتينوئيك في الجسم، وهي أشكال فعالة أخرى من الفيتامين A.

يتوفر الفيتامين A في الفواكه الملونة والخضراوات على شكل كاروتينوئيدات (بروفيتامين A)، والتي يمكن تحويلها إلى الريتينول في الجسم.

يملك الفيتامين A وظائف متعددة تتعلق بالرؤية، والمناعة، والمحافظة على النسج البطانية والجلد، ونمو العظام والجسم، والتطور الطبيعي لخلايا الجسم وتكاثرها.



مبدأ الاختبار (تفاعل Carr-Price) :

يتفاعل فيتامين A الموجود في زيت السمك مع ثلاثي كلوريد الأنتموان (كاشف Carr-Price) معطياً مركباً غير ثابت أزرق اللون، يتحول إلى مركب ثابت ذي لون أحمر بنفسجي خلال 5-10 دقائق. تتناسب شدة اللون مع تركيز الفيتامين.

هذا التفاعل شديد الحساسية للرطوبة، حيث تؤدي نسبة ضئيلة من الرطوبة إلى تشكل أوكسيد كلوريد الأنتموان الذي لا يتفاعل مع فيتامين A.

طريقة العمل:

1- أضف قطرتين من كل من زيت السمك ومحلول فيتامين A في أنبوبين جافين تماماً.
2- أضف 8 – 10 قطرات من كاشف Carr-Price إلى كل أنبوب.
3- لاحظ التغيرات الحادثة في كل أنبوب وسجل النتائج.

تحذير: لتجنب الرطوبة ينصح بإضافة قطرتين من بلا ماء حمض الخل إلى وسط التفاعل.

فيتامين C

مقدمة:

يعرف فيتامين C أيضاً باسم حمض الاسكوربيك (هو الشكل الفعال)، وهو فيتامين منحل في الماء. يتدخل الفيتامين C في التفاعلات الاستقلابية عن طريق شكليه المؤكسد والمرجع، كما أن له دوراً أساسياً في تفاعلات إدخال مجموعة OH وبالتالي في اصطناع الكولاجين. ولذلك يؤدي عوز فيتامين C إلى حدوث داء البثع (الإسقربوط Scurvy).

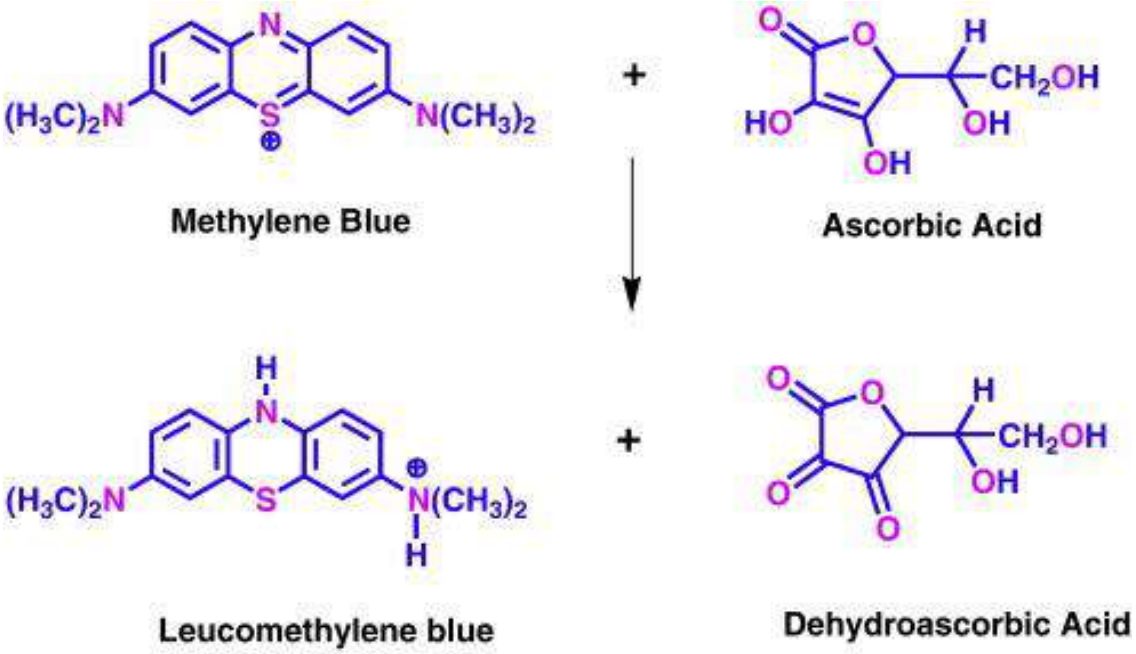
تحتوي الفواكه والخضروات على كمية كافية من الفيتامين C، وبشكلٍ خاص الحمضيات (الليمون، البرتقال، الكريفون)، والطماطم، والسبانخ، والفليفلة الحمراء والبطاطا، التي تشكل مصادر جيدة وواسعة الانتشار للفيتامين C.

مبدأ الاختبار:

يستطيع حمض الاسكوربيك في محلول حامضي تغيير لون الصبغة

2,6-dichlorophenolindophenol والمسماة زرقة الميتيلين، بسبب قدرته الإرجاعية.

عندما يتم إرجاع صبغة زرقة الميتيلين بوساطة حمض الاسكوربيك يتشكل مركب عديم اللون (Leucomethylene blue) ويفقد المحلول لونه ليصبح شفافاً.



طريقة العمل:

أضف بسرعة..

1- 1مل من محلول زرقة الميتيلين إلى أنبوبي اختبار، ومن ثم أضف قطرتين من حمض كلور الماء إلى كل أنبوب.
2- أضف 1مل من عصير الليمون أو البرتقال الطازج إلى الأنبوب الأول، و1مل من محلول فيتامين C إلى الأنبوب الثاني.
3- امزج جيداً وأغلق الأنابيب بسدادة.
4- ضع الأنابيب في حمام مائي بدرجة حرارة 37 – 40° م.
5- يفقد أنبوب فيتامين C لونه خلال 5 دقائق.
6- تقل شدة لون زرقة الميتيلين في أنبوب العصير خلال 20 دقيقة (قارن مع أنبوب محضّر حديثاً).

القسم العملي:

الاختبارات الكيفية لكشف الحموض الأمينية:

الاختبارات العامة:

1) اختبار كربونات النحاس :

يتفاعل ملح كربونات النحاس مع الأحماض الأمينية الحرة ليشكل معقداً ذو لون أزرق غامق إذ ترتبط الجذور الأمينية والكربوكسيلية مع شوارد النحاس. لا تعطي البروتينات والببتيدات نتيجة إيجابية مع كربونات النحاس لأن مجموعاتها غير حرة.

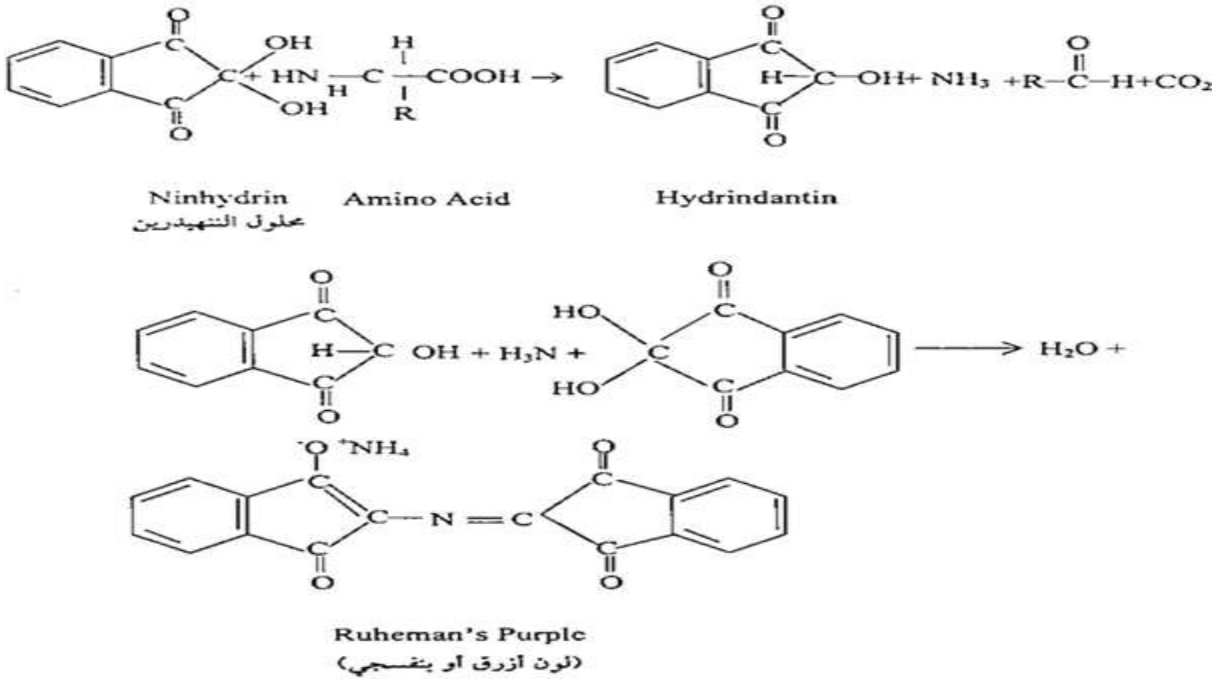
طريقة العمل:

محلول حمض أميني + قليل من كربونات النحاس بالتسخين حتى الغليان يظهر لون أزرق.

2) اختبار النـنهيدرين :

المبدأ:

النهدرين (2,2-dihydroxyindane-1,3-dione) هو مركب كيميائي يستخدم لكشف المجموعة الأمينية الأولية والثانوية. يقوم النهدرين بتفكيك الحموض الأمينية إلى ألدهيدات وأمونيا وCO_2 من خلال سلسلة من التفاعلات، والنتيجة هي شكل مرجع جزئياً من النهدرين يدعى الهيدريندانتين. بعد ذلك يحدث تفاعل تكثيف بين النهدرين والأمونيا والهيدريندانتين ويتشكل صباغ ذو لون أزرق أو أرجواني.



أما البرولين الذي يفتقد إلى مجموعة α–amino acid فإنه يتفاعل مع النينهدرين لكنه في هذه الحالة يعطي ناتجاً ذو لون أصفر برتقالي.

المواد: محلول النينهدرين 50 ملغ /100 مل : يضاف 50 ملغ من النينهدرين إلى 100 مل من البوتانول.

طريقة العمل:

نحتاج إلى 3 أنابيب

1- أضف 2 مل من محاليل كل من ألبومين البيض والألانين والبرولين في ثلاثة أنابيب منفصلة.

2- أضف 1 مل من كاشف النينهدرين.

3- امزج محتويات كل أنبوب وسخنه في حمام مائي في درجة الغليان لمدة 5 دقائق.

4- برّد الأنابيب وسجل ملاحظاتك واستنتاجاتك.

الاختبارات النوعية:

1) اختبار المجموعة العطرية Xantoproteic test :

المبدأ :

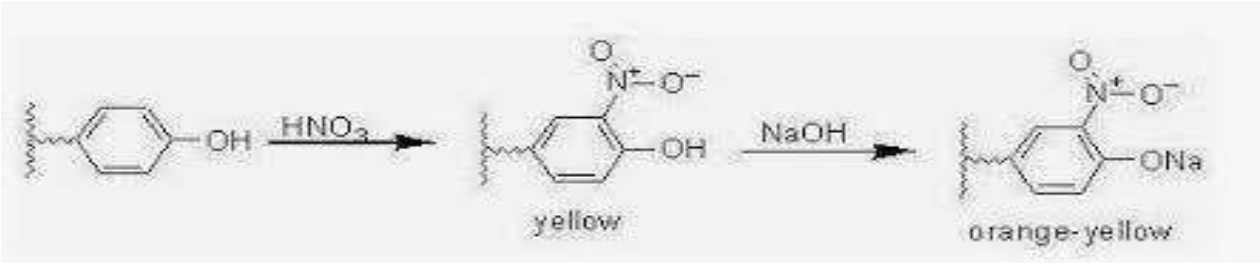
تبدي الحموض الأمينية الحاوية على حلقة عطرية مثل: (التيروزين والتريبتوفان و الفينيل آلانين) مشتقات نيتروزية صفراء عند التسخين مع حمض الآزوت الكثيف.

المواد:

1- محاليل الحموض الأمينية بتركيز 50µg/ml : (التريبتوفان، التيروزين، الألانين).

2- حمض الآزوت الكثيف.

3- محلول الـ NaOH 10%: يحل 10 غ من NaOH في الماء ويكمل الحجم إلى 100 مل بالماء.



طريقة العمل:

نحتاج إلى 3 أنابيب

1) أضف 1مل من محاليل كل من التريبتوفان والتيروزين والألانين في 3 أنابيب منفصلة.
2) أضف 0.5مل من حمض الآزوت المركز إلى كل أنبوب. سخن الأنابيب في حمام مائي غالٍ لمدة 5 دقائق.
3) برّد الأنابيب ثم أضف 3مل من الصود 10% ولاحظ تشكل لون أصفر برتقالي.

2) اختبار مجموعة الفينيل هيدروكسيل Millon test :

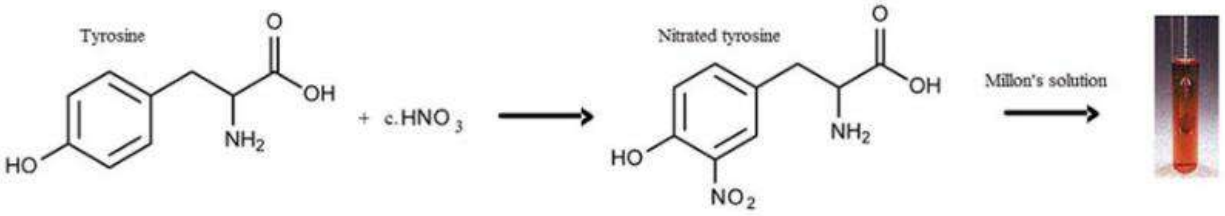
المبدأ :

إن كافة المركبات الحاوية على مجموعة الهيدروكسي فينوليك تعطي نتيجة إيجابية في اختبار ميلون، نتيجةً لذلك فإن كل بروتين يحتوي على التيروزين يعطي نتيجة إيجابية تظهر بشكل لون زهري إلى أحمر غامق. يُعزى هذا اللون الأحمر لتشكل ملح زئبقي للتيروزين.

المواد:

1- محاليل الحموض الأمينية: (التريبتوفان، التيروزين).

2- كاشف ميلون: يحل 10غ من الزئبق في 20مل من HNO3، ويمدد إلى 100مل باستعمال الماء.



طريقة العمل:

نحتاج إلى أنبوبين

1) أضف 1مل من محاليل كل من التريبتوفان والتيروزين في أنبوبين منفصلين.
2) أضف 3 قطرات من كاشف ميلون إلى كل أنبوب وامزج جيداً.
3) اغمر الأنابيب في حمام مائي غالٍ لمدة 5 دقائق.
4) برّد الأنابيب.
5) يلاحظ تشكل لون أحمر مما يدل على وجود التيروزين.

3) اختبار الكبريت:

المبدأ :

يمكن كشف الحموض الأمينية الحاوية على الكبريت مثل السيستيئين بتحويل الكبريت إلى كبريت غير عضوي عن طريق الشطر بواسطة أساس. عندما يتحد الناتج مع خلات الرصاص ينتج راسب أسود من سلفيد الرصاص.

المواد:

1- محاليل الحموض الأمينية: (الألانين، السيستيئين).

2- خلات الرصاص 15غ/100مل من الماء.

طريقة العمل:

نحتاج إلى أنبوبين

1) أضف 1مل من محاليل كل من الألانين والسيستيئين في أنبوبين منفصلين.
2) أضف 2مل من الصود 10%.

3) أضف 1مل من محلول خلات الرصاص.
4) رج الأنابيب، ثم سخنها في حمام مائي غالٍ لمدة 5 دقائق.
5) لاحظ تشكل اللون الأسود.

4) اختبار وظيفة الغوانيد Sakaguchi reaction:

المبدأ :

هو اختبار نوعي لوظيفة الغوانيد في الأرجينين، التي تتفاعل مع α–نافتول وعامل مؤكسد مثل ماء البروم أو هيبو كلوريت الصوديوم لإعطاء اللون الأحمر.

المواد:

1- محاليل الحموض الأمينية: (الألانين، الأرجينين، التريبتوفان).
2- محلول NaOH 40%: يحل 40غ في الماء ويكمل الحجم إلى 100 مل بالماء.
3- α–نافتول 1% في الكحول.
4- ماء البروم: يضاف عدة قطرات من البروم إلى 100مل من الماء ويُخض جيداً.

طريقة العمل:

نحتاج إلى 3 أنابيب

1) أضف 1مل من محاليل كل من الألانين والأرجينين والتريبتوفان في 3 أنابيب منفصلة.
2) أضف 0.5مل من محلول α–نافتول و1مل من ماء البروم إلى كل أنبوب ولاحظ اللون الأحمر المتشكل والذي يدل على وجود الأرجينين.

العمل:

يمزج 1 مل منNaOH مع 3 مل من محلول الحمض الأميني ويضاف قطرتان من α- نافتول. يمزج ويضاف إليها 5 قطرات من ماء البرومين.ويلاحظ تشكل لون أحمر والذي يدل على وجود الآرجنين.

5) اختبار باولي Pauly test:

المبدأ :

يتفاعل حمض السلفانيليك مع نتريت الصوديوم لتشكيل ملح دي آزونيوم (diazotized sulfanilic acid) الذي يتفاعل مع الفينول في التيروزين، أو الإيميدازول في الهستيدين ويعطي مركباً أحمر اللون.

المواد:

1- محاليل الحموض الأمينية (تريبتوفان، هستيدين، تيروزين).

2- حمض السلفانيلي: يحضر 1% من حمض السلفانيلي في 10% من HCl.

3- 5% من محلول نيتريت الصوديوم بالماء.

4- 1% من محلول كربونات الصوديوم بالماء.

طريقة العمل:

نحتاج إلى 3 أنابيب

1) أضف 1مل من حمض السلفانيليك و2مل من نتريت الصوديوم إلى 3 أنابيب وامزج جيداً.
2) أضف بسرعة 2مل من محلول التريبتوفان إلى الأنبوب رقم (1)، ومحلول الهستيدين إلى الأنبوب رقم (2)، ومحلول التيروزين إلى الأنبوب رقم (3).
3) أضف 6مل من كربونات الصوديوم إلى كل أنبوب ليصبح المحلول قلوياً.
4) يلاحظ تشكل اللون الأحمر.

6) اختبار إيرليش ألدهيد Ehrlich's aldehyde reagent:

المبدأ :

يشكل التريبتوفان بوجود كاشف إيرليش ألدهيد والمكوَّن من (4-dimethylaminobenzaldehyde in hydrochloric acid) بوجود حمض كثيف لون أزرق بنفسجي.

طريقة العمل:

نحتاج إلى 3 أنابيب

1) يضاف عدة قطرات من كاشف إيرليش ألدهيد إلى محلول الحمض الأميني ويمزج جيداً.
2) يضاف 1مل من محلول حمض الكبريت وعلى الجدار الداخلي للأنبوب وبحذرٍ شديد.
3) يلاحظ تشكل حلقة بنفسجية في السطح الفاصل بين الطبقتين.

ويبين الجدول التالي بعض التفاعلات اللونية للحموض الأمينية:

Amino Acides Detected	Name	Color
Tyrosin,tryptophan.alanin	Xantoproteic reaction	Yellow
Tyrosin	Millon reaction	Red
Cystein	lead diacetate	Black
Arginin	Sakaguchi reaction	Red
Histidin, Tyrosin	Pauly reaction	Red
Tryptophan	Ehrlich reaction	Blue

الإنزيمات

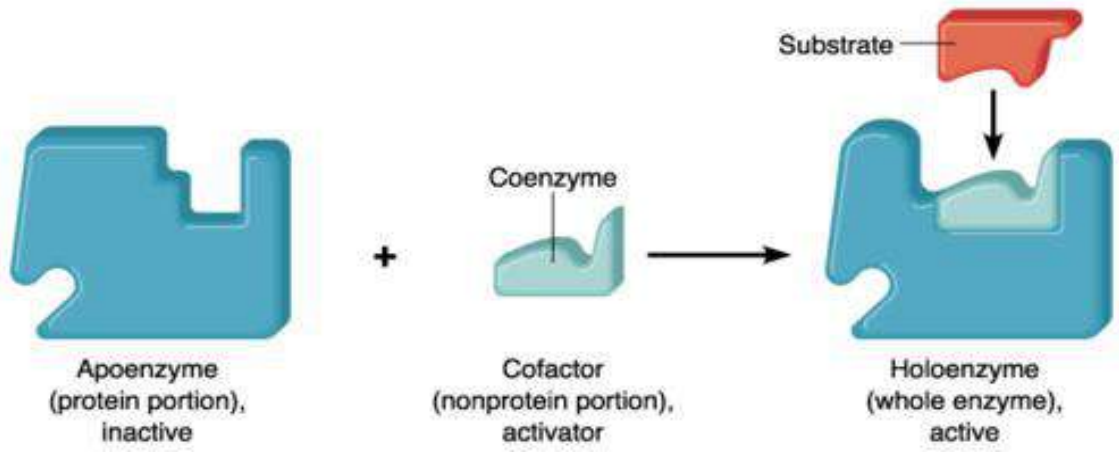
مقدمة

الإنزيمات هي جزيئات بروتينية تصطنعها كافة الخلايا النباتية والحيوانية وتحتاجها للقيام بوظائفها. تعمل الإنزيمات كوسائط تحفز أو تسرع التفاعلات الكيميائية في الخلايا والأوساط الحيوية، دون أن تتبدل بتأثير هذه التفاعلات. تؤثر الإنزيمات على جزيئات محددة يطلق عليها الركائز substrates ، وتقوم بتحويلها إلى جزيئات أخرى تدعى النواتج products . تحتاج جميع الآليات الاستقلابية إلى إنزيمات متعددة من أجل أن تتم بسرعة كافية للمحافظة على وظائف الخلية وحياتها.

بنية الإنزيمات

كغيرها من البروتينات، تتكون من سلاسل من الحموض الأمينية تطوى لتشكل بنية ثلاثية الأبعاد. تحوي هذه البنية موقعاً فعالاً يرتبط بالركازة ويحفز التفاعل المطلوب، كما تتضمن مواقع تنظيمية قد تساهم في تفعيل أو تثبيط الإنزيم.

تحتاج بعض الإنزيمات إلى عوامل مساعدة تعمل على تفعيلها أو تساهم في تحفيز التفاعل الكيميائي. تكون هذه العوامل المساعدة إما ذات طبيعة معدنية أو غير عضوية وتسمى cofactors ، أو ذات طبيعة عضوية (غالباً ما تكون مشتقة من الفيتامينات) وتسمى coenzymes. تدعى الإنزيمات في حالتها الكامنة غير المفعلة بـ apoenzymes ، وعند ارتباطها بالعامل المساعد المناسب وتفعيلها تدعى holoenzyme.



نوعية الإنزيمات

من خصائص الإنزيمات التي تعطيها أهمية كبيرة كأداة تشخيصية وبحثية هي النوعية التي تبديها فيما يتعلق بالتفاعلات الكيميائية التي تقوم بتحفيزها. حيث يتواسط كل إنزيم نوعاً محدداً من التفاعلات الكيميائية. وبمقابل هذه النوعية التي تمتلكها الإنزيمات، فإن العوامل المساعدة لا تمتلك مثل هذه النوعية، حيث يمكن أن تؤدي وظيفتها مع العديد من الـ apoenzymes.

تصنيف الإنزيمات

يتم تصنيف وتسمية الإنزيمات وفقاً لنوع التفاعلات التي تقوم بتحفيزها. وتنتمي الإنزيمات عادةً إلى واحدة من المجموعات الرئيسية الستة، وهي:

- إنزيمات الأكسدة والإرجاع Oxidoreductases

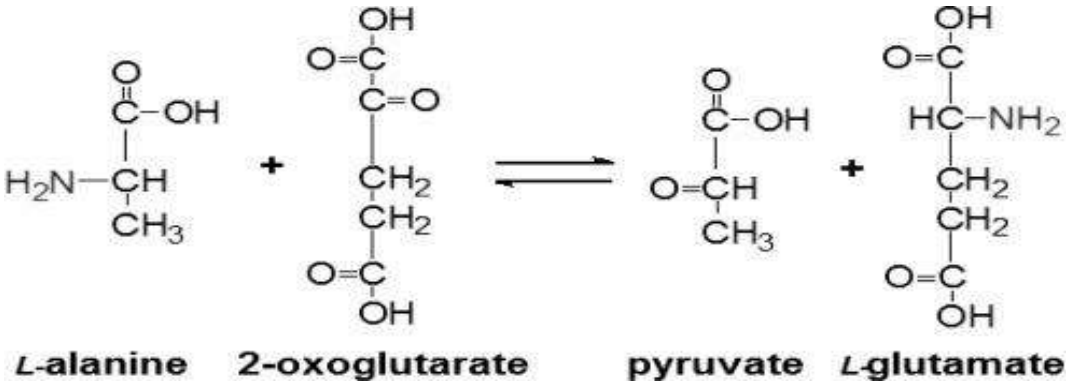
يكون هذا النوع من الإنزيمات مسؤولاً عن تفاعلات الأكسدة والإرجاع التي تجري بشكلٍ مزدوج دائماً في الخلايا.

- إنزيمات الإماهة (الحلمهة) Hydrolases

يحفز هذا النوع من الإنزيمات التفاعلات الكيميائية التي يتم فيها تحطيم الروابط الكيميائية من خلال إضافة جزيئة من الماء.

- الإنزيمات الناقلة Transferases

هذا النوع من الإنزيمات مسؤول عن تحفيز التفاعلات الكيميائية التي يتم فيها نقل شوارد أخرى غير الهيدروجين بين المواد المتفاعلة.



- إنزيمات الفصل Lyase

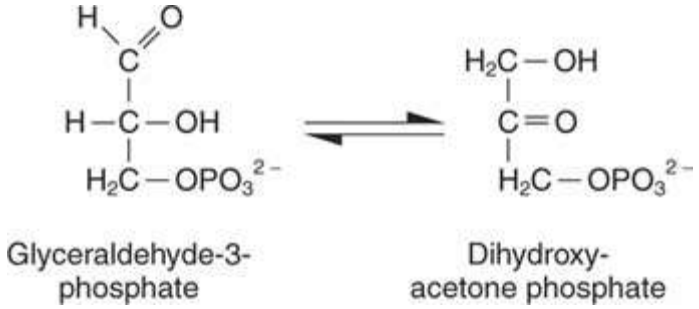
وهي الإنزيمات التي تحفز كسر الروابط C-C ، C-O ، C-N وبقية الروابط، بطرق مختلفة عن طرق الإماهة والأكسدة. مشكّلةً غالباً رابطة مزدوجة أو بنية حلقية جديدة.

- الإنزيمات الرابطة Ligases

وهي الإنزيمات التي تتوسط عملية ربط ركازتين ببعضهما البعض.

- إنزيمات التماكب Isomerases

تحفز هذه الإنزيمات تماكب المركبات فقط. على سبيل المثال، بعض هذه الإنزيمات مسؤول عن التحول الكيميائي بين السكاكر الألدهيدية والكيتونية.

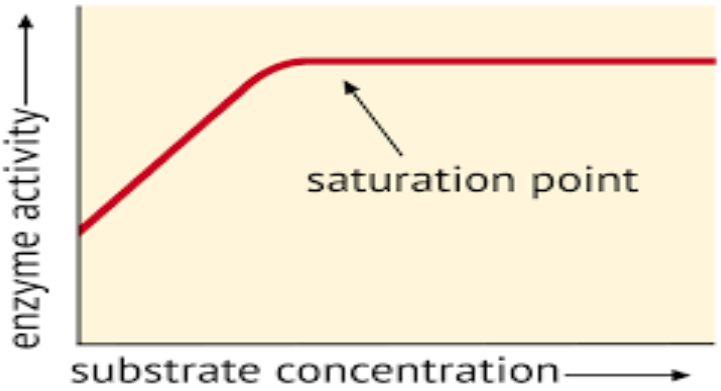


خصائص الإنزيمات

- مركبات بروتينية.
- محفزات حيوية نوعية، تقوم بزيادة سرعة التفاعل دون أن تُستهلك أو تتبدل.
- فعالة بمقادير زهيدة.
- تتأثر بالعديد من العوامل كدرجة الحرارة والحموضة، ويمكن أن تتخرب بتأثير الحرارة الزائدة.

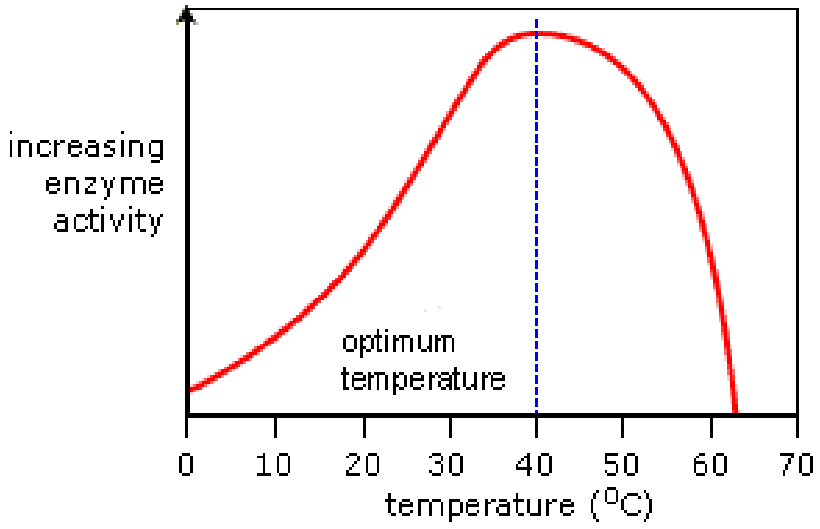
العوامل المؤثرة على الفعالية الإنزيمية

1) **تركيز الإنزيم:** تزداد سرعة التفاعل طرداً بزيادة تركيز الإنزيم، بسبب وجود المزيد من المواقع الفعالة لتحفيز التفاعل، وبالتالي تَشكل المزيد من المعقدات بين الإنزيم والركازة.
2) **تركيز الركازة:** تزداد سرعة التفاعل مع زيادة تركيز الركازة، حتى الوصول إلى تراكيز مرتفعة منها، حين تصبح جزيئات الإنزيم مشبعة بالركازة ويتبقى القليل من المواقع الفعالة الحرة، بحيث لا تؤدي إضافة المزيد من الركازة إلى إحداث أي فرق.



3) **درجة الحرارة:** إن للإنزيمات درجة حرارة مثلى تقوم فيها بعملها باسرع شكلٍ ممكن، وهي بالنسبة للإنسان 37 م. تزداد سرعة التفاعل طردياً بازدياد درجة الحرارة حتى الوصول إلى درجة الحرارة المثلى للإنزيم، وذلك بسبب امتلاك جزيئات كل من الإنزيم والركازة للمزيد من الطاقة الحركية مما يزيد من ارتباطها ببعضها البعض.

تتناقص سرعة التفاعل عند تجاوز درجة الحرارة المثلى للإنزيم، بسبب حدوث تمسخ متزايد لجزيئاته. تقوم الطاقة الحرارية بتحطيم الروابط الهيدروجينية التي تشكل البنية الثانوية والثالثية للإنزيم، مما يؤدي إلى فقدانه لشكله الفراغي بحيث لا تعود الركازة قادرة على التلاؤم مع الموقع الفعال. ويكون هذا التغير غير عكوس.



4) **درجة الحموضة pH:** للإنزيمات pH مثلى تعمل فيها بالسرعة القصوى، وهي 7-8 بالنسبة لمعظم الإنزيمات في جسم الإنسان. لكن يمكن لعددٍ قليلٍ من الإنزيمات أن تعمل في pH منخفضة جداً، مثل البروتياز المعديّة (الببسين) التي تعمل في pH مثلى تعادل الـ 1.
يعود هذا إلى تأثير درجة الـ pH على شحنة الحموض الأمينية في الموقع الفعال للإنزيم، بحيث تتغير خصائص الموقع الفعال ولا تعود الركازة قادرة على الارتباط في درجات pH غير المثالية.

5) **المثبطات:** يعرف المثبط الإنزيمي بأنه مادة ترتبط مع الإنزيم (بشكلٍ عكوس أو غير عكوس) وتُنقص من فعاليته التحفيزية. يمكن للمثبط أن يكون ذا طبيعة عضوية أو غير عضوية، وتوجد ثلاث مجموعات رئيسية من التثبيط الإنزيمي:

a. **التثبيط التنافسي Competitive inhibition**

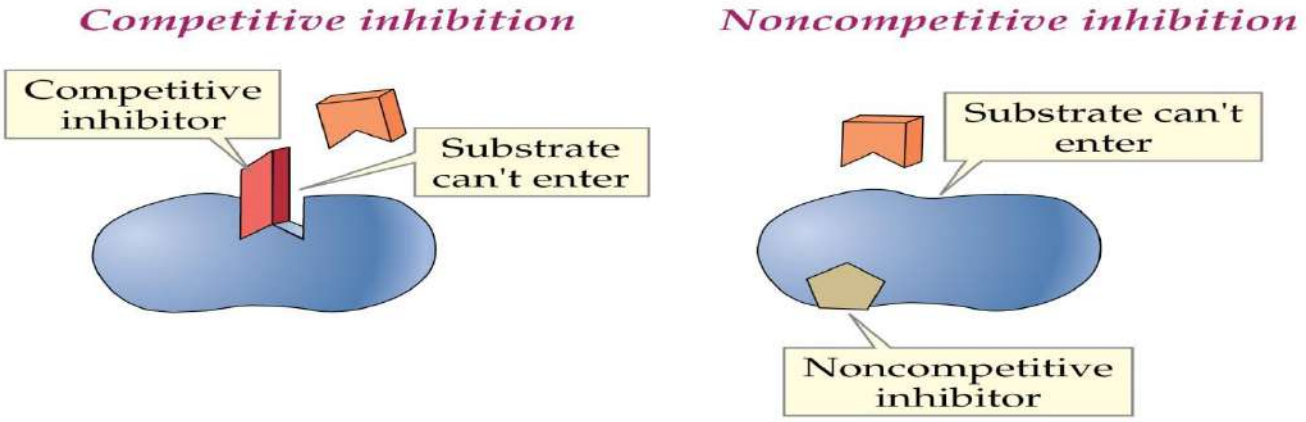
في التثبيط التنافسي يمتلك المثبط تركيباً مشابهاً للركازة ويتنافس معها على الارتباط بالموقع الفعال، فيعيق حدوث التفاعل الأساسي. إذا كان ارتباط المثبط التنافسي بالإنزيم عكوساً، فإن زيادة تركيز الركازة في الوسط برجح الكفة لصالحها للارتباط بالموقع الفعال، ليعود التفاعل الأساسي لسرعته.

b. **التثبيط غير التنافسي Non-competitive inhibition**

في التثبيط غير التنافسي لا يرتبط المثبط مع الموقع الفعال، لكنه يرتبط بالإنزيم في موقعٍ آخر (قد يكون هذا الارتباط عكوساً أو غير عكوس)، مما يؤثر على بنية الإنزيم الفراغية وبالتالي فعاليته. وبما أنه لا يوجد هنا أي تنافس بين المثبط والركازة، فإن زيادة تركيز الركازة لن يعيد التفاعل إلى سرعته الأساسية.

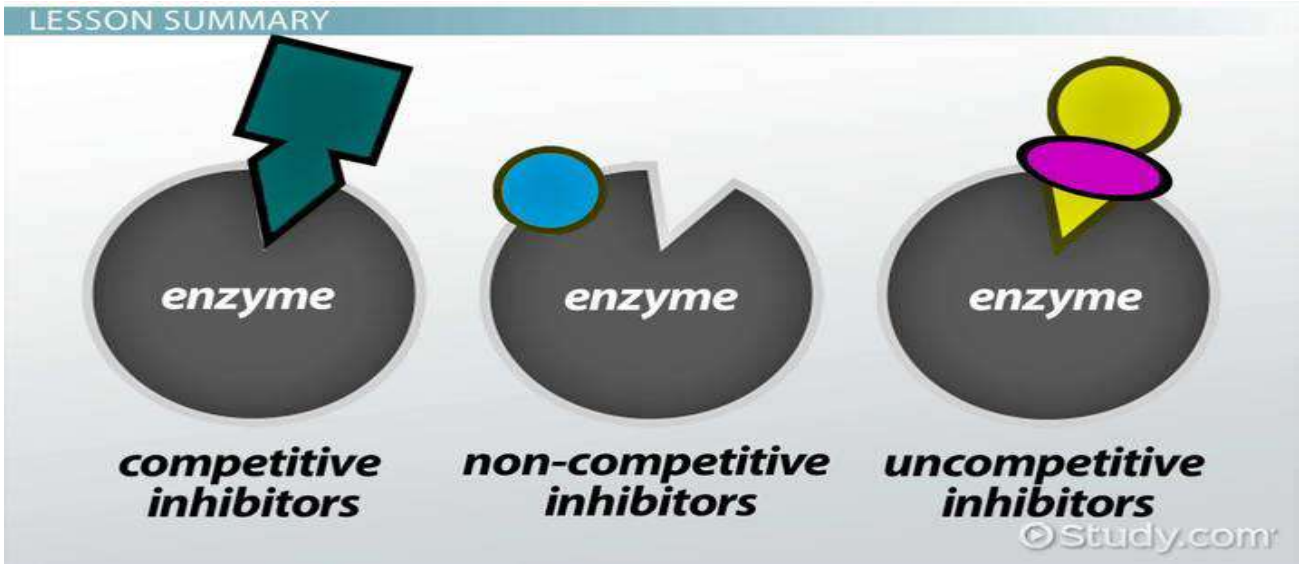
c. **التثبيط اللاتنافسي Uncompetitive inhibition**

في التثبيط اللاتنافسي يرتبط المثبط بالمعقد (إنزيم – ركازة) (E – S) مما يمنع حدوث التفاعل. يزداد تشكل المعقد (إنزيم – ركازة – مثبط) (E – S – I) كلما زاد تركيز الركازة في الوسط، مما يَحول دون الحصول على منتجات التفاعل ما دام المثبط موجوداً.



Competitive inhibition
Competitive inhibitor
Substrate can't enter
Noncompetitive inhibition
Substrate can't enter
Noncompetitive inhibitor

LESSON SUMMARY
enzyme
enzyme
enzyme
competitive inhibitors
non-competitive inhibitors
uncompetitive inhibitors
©Study.com



القسم العملي:

إنزيم اليورياز Urease

مبدأ الاختبار:

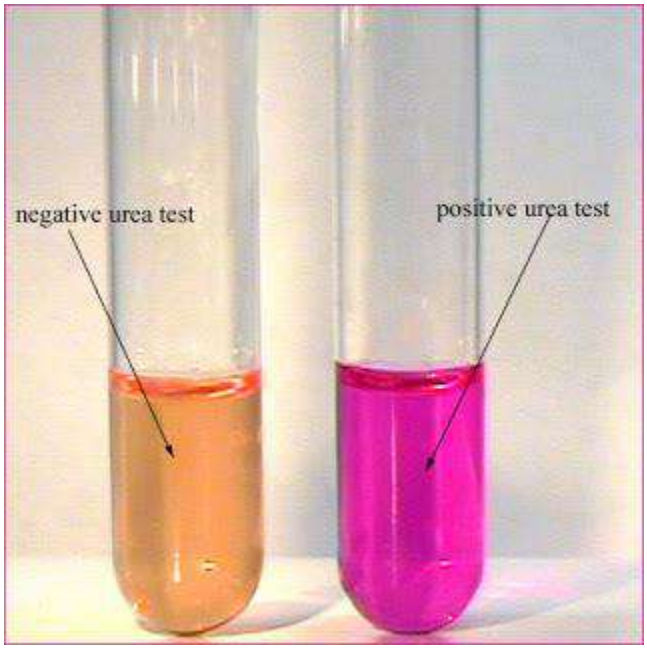
اليورياز هو إنزيم يحفز إماهة البولة إلى ثاني أكسيد الكربون والنشادر.

يسبب النشادر ارتفاع pH الوسط، وهو تغير يمكن كشفه باستخدام مشعر الفينول الذي يكون باللون الأصفر في الأوساط الحامضية، ويتحول إلى اللون الزهري عندما يصبح المحلول قلوياً.

طريقة العمل:

تفاعل إماهة البولة

1. ضع 2 مل من محلول البولة في أنبوب اختبار.
2. أضف 3 قطرات من مشعر أحمر الفينول.
3. أضف الخلاصة الإنزيمية قطرة فقطرة مع التحريك، ولاحظ عدد القطرات اللازمة لتغيير اللون في الأنبوب.



إنزيم الكاتالاز Catalase

مبدأ الاختبار:

يتواجد إنزيم الكاتالاز عادةً في العضيات الداخلية لخلايا الكبد والبطاطا. تكمن فائدته في حماية الخلية من التأثيرات السامة للماء الأكسجيني، وهو ناتج نهائي شائع لعمليات الاستقلاب التأكسدية، وذلك من خلال تحلل الماء الأكسجيني إلى الأكسجين الجزيئي والماء.

سوف ندرس في هذه التجربة العوامل المختلفة المؤثرة على فعالية الكاتالاز، حيث أن قياس حجم الأكسجين المتحرر خلال التفاعل يسمح بمقارنة فعالية الإنزيم في الشروط المختلفة.

طريقة العمل:

تفاعل بيوريت (كشف الطبيعة البروتينية للإنزيم)

1. ضع 1 مل من خلاصة البطاطا في أنبوب اختبار.
2. أضف 2 مل من الصود 10%.
3. أضف 1 مل من كاشف بيوريت وسجل ملاحظاتك.

تفاعل الكاتالاز (كشف الفعالية الإنزيمية)

1. ضع 1 مل من خلاصة الإنزيم في أنبوب اختبار.
2. أضف 1 مل من الماء الأكسجيني بتركيز 3%.
3. انتظر دقيقة واحدة وامزج لملاحظة تشكل فقاعات الأكسجين في الأنبوب.

تأثير تركيز الركازة على الفعالية الإنزيمية

1. ضع 1 مل من الخلاصة الإنزيمية في كل من 4 أنابيب.
2. ضع 1 مل من الماء الأكسجيني في كل من الأنابيب بالتراكيز 1%، 3%، 10%، 20% على التوالي.
3. انتظر دقيقة واحدة وامزج لملاحظة تشكل فقاعات الأكسجين في الأنابيب وسجل مقدار ارتفاع الفقاعات في كل انبوب مقدراً بالميليمتر.

تأثير المثبطات الإنزيمية

يرتبط الهيدروكسيلامين مع ذرة الحديد في إنزيم الكاتالاز ويتداخل مع تشكل معقد إنزيم – ركازة، مما يسبب تثبيطاً تنافسياً للفعالية الإنزيمية.

1. أضف 5 قطرات من محلول الهيدروكسيلامين إلى 1 مل من الخلاصة الإنزيمية في أنبوب اختبار واتركه لمدة دقيقة واحدة.
2. في أنبوب اختبار آخر، أضف 5 قطرات من الماء المقطر إلى 1 مل من الخلاصة الإنزيمية.
3. ضع 1 مل من الماء الأكسجيني في كلا الأنبوبين.
4. امزج وانتظر دقيقة واحدة وسجل ارتفاع الفقاعات في كل انبوب بالميليمتر.

داء السكر

مرض السكري او داء السكر هو مرض مزمن ينتج إما عن نقص إنتاج الإنسولين من البنكرياس، أو مقاومة الجسم الاستجابة للانسولين، وفي كلا الحالتين يؤدي الى ارتفاع مستوى السكر في الدم عن معدلاته الطبيعية. هناك نمطان شائعان لمرض السكري النمط الأول والنمط الثاني.

النمط الأول : يتمثل بنقص إنتاج الإنسولين وذلك نتيجة تلف في خلايا بيتا المُصنعة للإنسولين في البنكرياس؛ ويسمى أيضاً بسكري الأطفال؛ لأنهم عادة الأكثر عرضة للإصابة به، رغم أنَّه قد يصيب الشخص في أي مرحلة عمرية.

النمط الثاني أو ما يعرف بسكري البالغين، والذي يتمثل بعجز الجسم عن الاستجابة للإنسولين، وفي مراحل متقدمة من هذا النمط تتراجع قدرة البنكرياس على إنتاج الإنسولين ليؤدي إلى نقص الإنسولين في الجسم

السكر الطبيعي يؤثّر معّدل سكر الدم على الجسم بشكل كبير؛ فهو مؤشّر ودليل للإصابة بمرض السكري من عدمه، وتزيد نسبة سكر الدم بعد الوجبات بشكل طبيعي ولكن يجب أن لا تتخطّى نسبةً مُعيّنة. هناك العديد من العوامل الأخرى التي تؤثّر في مُعدّل سكر الدم مثل الحركة والنشاط اليومي، وطبيعة الوجبات اليومية، والتوتر والضغط النفسي، وتناول بعض الأدوية.

مُعدّل السكر الطبيعي في الدم قبل تناول الوجبات أو في الصباح هو 120/80 مليغرام/دل، وفي حالة الإصابة بمرض السكّري يجب المتابعة اليومية لمعدل السكر في الدم لتجنّب حدوث المضاعفات مثل غيبوبة السكر.

بعد الوجبات يتحوّل الطعام إلى سكر الجلوكوز ليُزوّد الجسم بالطاقة الضرورية لأداء وظائفه الحيوية، وهرمون الأنسولين يُدخل السكّر إلى الخلايا، وكميّة السكر الزائدة تُخزّن في العضلات والكبد على شكل جلايكوجين أو يتحول السكر إلى دهون وتخزن في الخلايا الدهنية وهي مصدر الطاقة للجسم.

اعراض داء السكر

الجوع المفرط: اذ لا يتم افراز هرمون الأنسولين بكميات كافية في الجسم مما يعني عدم نقل السكر الى خلايا الجسم بصورة سليمة واستغلاله كمصدر للطاقة كما يجب، وبالتالي الشعور بالجوع الشديد.

التعب والوهن: اذ تم حرمان الخلايا من الجلوكوز والحاجة الى الطاقة

العطش الشديد: السكر الزائد في مجرى الدم يؤدي الى اختلال في توازن السوائل على اسطح الخلية، مما يؤدي سحب السوائل داخل الانسجة، وبالتالي زيادة الشعور بالعطش

التبول المتكرر: وخاصة ليلاً، نتيجة للشعور بالعطش وتكرار عملية الشرب يزيد عدد مرات التبول.

ضبابية الرؤية: نسبة السكر المرتفعة في مجرى الدم تؤدي الى سحب السوائل من عدسية العين مما يؤثر على قوة التركيز والنظر

بطء في التئام التقرحات والجروح.

التهابات متكررة: نتيجة لارتفاع السكر في الدم، مما يجعل البيئة مناسبة للميكروبات

رائحة النفس الكريهة: نتيجة لانتاج الاجسام الكوتينة، اذ يتوجه الجسم الى حرق الدهون كمصدر بديل للطاقة عند عدم توافرها من الجلوكوز بالخلايا، وكنتيجة جانبية لعملية أيض الدهون ينتج أجسام كيتونية تتسبب برائحة الفم الكريهة

فقدان الوزن: اذ على الرغم من تناولك لوجبات بسعرات حرارية عالية، لا يستطيع الجسم الحصول على الطاقة بمقدار كاف من الجلوكوز وبالتالي يعمل على التحول الى مخازن الجلايكوجين والدهون واستخدامها لانتاج الطاقة

وجود أماكن غامقة اللون في الجسم: مثل الرقبة أو الابطين، قد يكون دليل على مقاومة الانسولين في الجسم..

طرق قياس نسبة السكر في الدم

فحص عينة من الدم مخبرياً يتم أخذ عينة دم من وريد الشخص المراد قياس نسبة السكر في الدم لديه، ثمّ وضعها في أنبوبة جهاز الطرد المركزي وتترك لتتجلط ويدار الجهاز لفصل البلازما حتى لا تؤثر في تركيز السكر في العينة، بعد ذلك يتم تحضير ثلاث انابيب اختبارنكتب على الاولى حرف T

وهي تمثل عينة الدم Test والانبوبة الثانية نكتب عليه حرف S تمثل STANDARوالانبوبة الثالثة نكتب عليه حرف Bوتمثل الانبوبة الفارغة BLANK

ركها لمدة نصف ساعة في درجة حرارة الغرفة أو لمدة عشر دقائق في الحاضنة على درجة حرارة 37 مئوية، ويتم ضبط جهاز قياس الألوان على طول موجة 505 نانوميتراً لقراءة نسبة السكر.

الكلايكوجين

كلايكوجين بوليمر متعدد الوحدات ، يشكل الكلوكوز وحدة البناء الأساسية في هذا الجزيء الذي يعمل كمخزن للطاقة في الحيوانات والفطريات. ترتبط كل وحدة جلوكوز مع الوحدة التي تليها بروابط من نوع آلْفَ (1،4)، في حين تتكون التفرعات من روابط (1،6). عندما تقل نسبة الكلوكوز في الدم، تبدأ عملية تحطيم الكلايكوجين إلى الوحدات الأساسية المكونة له، الكلوكوز. في حين تتم عملية عكسية لتحويل جزيئات الجلوكوز إلى كلايكوجين، عندما ترتفع نسبة الجلوكوز في الدم. الأنسولين هو الهرمون المسؤول عن تكوين الجلايكوجين في جسم الأنسان، أَمّا الكبد والعضلات فهما العضوان المسؤولان عن تخزينه.

عمليات بناء وهدم الكلايكوجين

عملية بناء الكلايكوجين (Glycogenesis)

هي عملية حيوية بنائية يتم فيها إضافة جزيئات من الكلوكوز إلى مركب بدئي (كليكوجينين) لتشكيل مركب كبير يدعى الكلايكوجين وهو الشكل التخزيني للسكر في جسم الإنسان

عملية هدم الكلايكوجين (Glycogenolysis)

تتضمن تفتيت الجلايكوجين إلي كلوكوز في الكبد أو العضلات

اهمية الكلايكوجين

(1)كلايكوجين الكبد:-

يعمل كاحتياطي من الكلوكوز يساعد في الحافظ على نسبة سكر الدم وخاصة بين الوجبات الغذائية وبعد12-18ساعة من الانقطاع عن الطعام فان كلايكوجين الكبد ينضب.

(2) كلايكوجين العضلات:-

يعمل كاحتياطي وتعود لتصنيع ATPضمن نفس العضلة وينضب هذا الكلايكوجين بعد القيام بتمرينات لفترة طويلة.

(الفرق بين كلايكوجين الكبد وكلايكوجين العضلات)

ت	كلايكوجين الكبد	كلايكوجين العضلات
1	يتمركز كلايكوجين الكبد في الكبد	يتمركز كلايكوجين العضلات في العضلات
2	يشتق من الكاربوهيدرات	يشتق من كلوكوز الدم
3	ممكن ان يعطى كلوكوز بسبب وجود انزيم الفوسفيتز الذي يحول	يعطى حامض اللاكتيك من البدائية والذي يمر بالكبد ثم

	كلوكوز6-فوسفيت الى كلوكوز	يتحول الى كلايكوجين في الكبد
4	تستخدم الطاقة الناتجة منه بواسطة كل انسجة الجسم	الطاقة الناتجة تستخدم في العضلات

مرض تخزين الكلايكوجين
Glycogen Storage Diseases

هو مرض وراثي متنحي يلزم لظهوره نسختين من الجين المختل ، يستطيع الكبد والعضلات خزن الزائد من سكر الدم في صورة كلايكوجين، حيث يتكون الكلايكوجين من عدد كبير من وحدات الكلوكوز. وعند حدوث اضطراب في تركيب جزيء الكلايكوجين أو زيادة تركيزه يحدث ما يسمى بأمراض تخزين الكلايكوجينGlycogen Storage Diseases ، وهي عدة أنواع، معظمها نادر الحدوث في الإنسان، وتكشف جميعها خلال مرحلة الرضاعة فيما عدا النوع الخامس منها ويعرف بمرض ماكاردل Mcardle Disease، والذي يحدث في الأشخاص البالغين

وتحدث أمراض تخزين الكلايكوجين نتيجة حالات نقص في إنزيم معين يساعد في عملية تحلل أو تكوين الكلايكوجين في جسم الإنسان، وجميعها حالات متوارثة وتتصف بزيادة تجمع هذا المركب في الكبد والعضلات أو الاثنين معاً، وانخفاض في مستوى سكر الدم نتيجة قصور تحرك سكر الكلوكوز عند الاحتياج له.

وقد عرف العلماء نحو 12 نوعاً من أمراض تخزين الكلايكوجين في الإنسان، ونسبة حدوثها جميعها هي حالة واحدة لكل 40,000 نسمة وقد تظهر بعض أعراض هذه الأمراض في صورة تضخم أو تليف للكبد، وانخفاض مستوى كلوكوز الدم مع زيادة الحموضة، وفقدان في أنسجة

عضلات الجسم، والتهابات بالجهاز الهضمي، وتقلصات مع التمارين الرياضية.

طريقة تقدير الكلايكوجين في الانسجة

تعتمد هذه الطريقة على تحلل الانسجة تحلا مائيا بواسطة هيدروكسيد الصوديوم ثم ترسب الكلايكوجين المنفصل بواسطة الكحول ثم فصله بواسطة الة الطرد المركزي بعد ذللك يحلل الكلايكوجين مائيا بواسطة حامض HClثم يعامل الحامض وتقدر السكريات المختزلة الناتجة باحد الطرق المعروفة.

التخمر fermentation:

مفهوم التخمر كانت كلمة " تخمر" تشير في بداية استعمالها الى التفاعلات الكيميائية التي يتكون فيها غاز على سطح وسط النمو ينشأ نتيجة ذلك كمية من الفقاعات الهوائية . اشتقت كمة التخمر بالانكليزية fermentation من الفعل اللاتيني fervere وقد استخدم هذا المصطلح لأول مرةٍ في أواخر القرن الرابع عشر في الكيمياء، وكان متداولاً على مدى واسع النطاق. إلا أنه لم يُستخدم في الاوساط العلمية حتى بداية القرن الخامس عشر , وقد توسع هذا المصطلح كثيراً فيما بعد ليشمل كل التفاعلات الكيمياوية المصاحبة للاكسدة والاختزال والتي تقوم بها الاحياء المجهرية..

كيميائية التخمر :تحتوى منتجات التخمر على طاقةٍ كيميائيةٍ (تتسم بأنها ليست مؤكسدة تماماً)، إلا أنها تُعتبر منتجات نفايات، حيث أنها لا يمكن تمثيلها أكثر من ذلك بدون استخدام الأوكسجين (أو أي مستقبلات الإلكترون عالية الاكسدة الخرى). نتيجةً لذلك فإن إنتاج أدينوسين ثلاثي الفوسفات من خلال عملية التخمر تكون أقل كفايةٍ من الفسفرة التأكسدية.

انواع التخمر .

1-التخمر الكحولي

والذي تنفذه الخميرة وأنواعٍ أخرى من البكتريا حيث تعمل على تكسير حامض البيروفك إلى الإيثانول وثاني أكسيد الكربون. ويلعب هذا التخمردورا هاما في صناعة الخبز، تخمر المعجنات ، وكذلك في صناعة الخل. وغالباً ما يُفضل واحداً من المنتجات؛ فعلى سبيل المثال في صناعة الخبز، يستخرج الكحول من الخبز، بينمل يحتفظ بثاني اوكسيد الكاربون وفي إنتاج الكحول، ينطلق ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي المحيط ويبقى الكحول.

وتلخص المعادلة الكيميائية التالية عملية تخمر الكلوكوز. حيث يتحول جزيء واحد من الكلوكوز إلى جزيئين من الإيثانول وجزيئين آخرين من ثاني أوكسيد الكربون

$$C6H12O6 \rightarrow 2C2H5OH + 2CO2\ C2H5OH$$

2-التخمر اللبني:

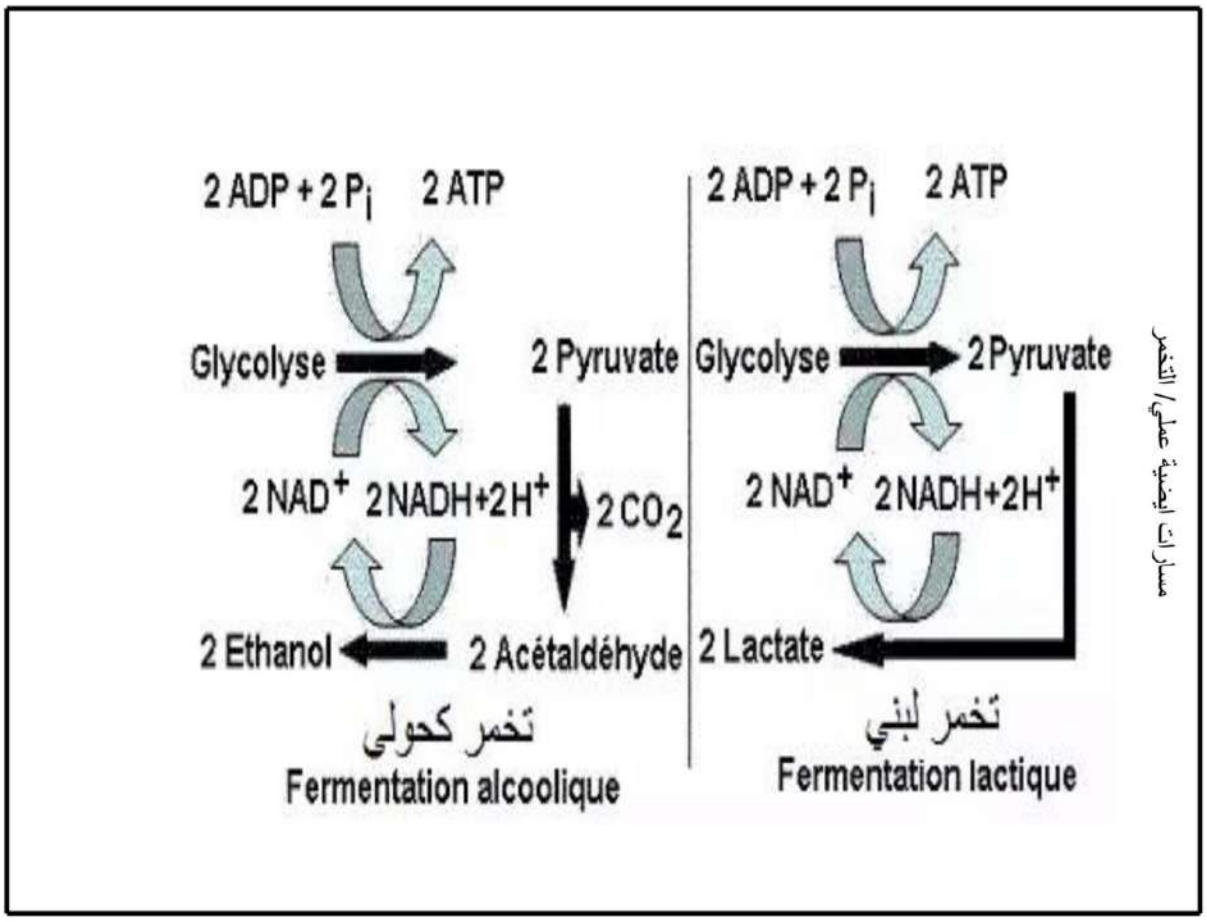
. التخمر اللبني هو عملية شائعة جدا بين البكتيريا. حيث يكون الناتج النهائي للبكتيريا (حمض اللاكتيك) وهو السبب الذي يعطي اللبنطعمه الحامض المميز. عضلة الإنسان هي أيضا واحدة من المناطق الأكثر شيوعا حيث هذا النوع من التخمير

.في ظل الظروف العادية تستطيع خلايا العضلات الاستفادة من الأوكسجين لتنفيذ التنفس الخلوي العادي. ولكن في حال حيث هناك غياب أو عدم وجود مثل (التي تحدث عادة خلال الاجهاد البدني القصوى)، فإنها سيخضع للتخمر اللبني، ويصبح حمض البيروفيك حمض اللبنيك في هذا النوع من التخمر. وكان يعتقد سابقا ان حامض اللبنيك هو المسؤول عن جعل العضلات متالمة وقاسية بعض الشيء وخصوصا في اليوم بعد الانخراط في النشاط البدني شاقة. الا ان توضح ان الياف العضلات لديها آلية للتخلص من هذا الحمض،

ملاحظة/ سؤال/لماذا لا يجـــــــــــعلك الخبز مخمورا بعد تناوله

جواب/ حرارة الفرن تعمل على تبخير الايثانول في عملية الخبز في حين يبقى الايثانول في المخمور بسب وضعها في اوعية محكمة الاغلاق

مقارنة بين التخمر الكحولي والتخمر اللبني



دورة كوري Cori Cycle

دورة ايضية تنسب تسميتها الى كل من Carl And Gerty Cori وهما عالما الكيماء الحيوية والصيدلة الأمريكيين ، وهي باختصار دوران حامض اللاكتيك والكلوكوز بين العضلات والكبد . عند الإجهاد والعمل الشاق تستخدم الأنسجة العضلية الأوكسجين على نحو أسرع مما هو متوفر لديها بواسطة الدم ولهذا فأن الخلايا العضلية تعمل بطريق الايض اللاهوائي .تحت هذه الظروف تتوقف عملية ايض الكلوكوز عند تكوين مركب ثلاثي ذرات الكربون ، إلا وهو حامض اللاكتيك و باختزال حامض البايروفيك الى حامض اللاكتيك في ظروف لاهوائية وعن طريق الدم يذهب حامض اللاكتيك الى الكبد حيث يتم تخليق أو تكوين الكلوكوز من حامض اللاكتيك بعملية تدعى (تخليق الكلوكوز Gluconeogenesis) ويعود الكلوكوز المتكون مرة ثانية الى الخلايا العضلية عن طريق الدم ويتم تحلله مرة ثانية بعملية(تحليل الكلوكوز Glycolysis) وهكذا فأن الكلوكوز وحامض اللاكتيك يدوران بين العضلات والكبد بدورة تدعى دورة كوري وباختصار فأن الدورة عبارة عن دخول الكلوكوز الى العضلة وخروج حامض اللاكتيك منها بينما يأتي أو يدخل الكبد حامض اللاكتيك ويخرج على هيئة كلوكوز وهكذا تستمر الدورة.

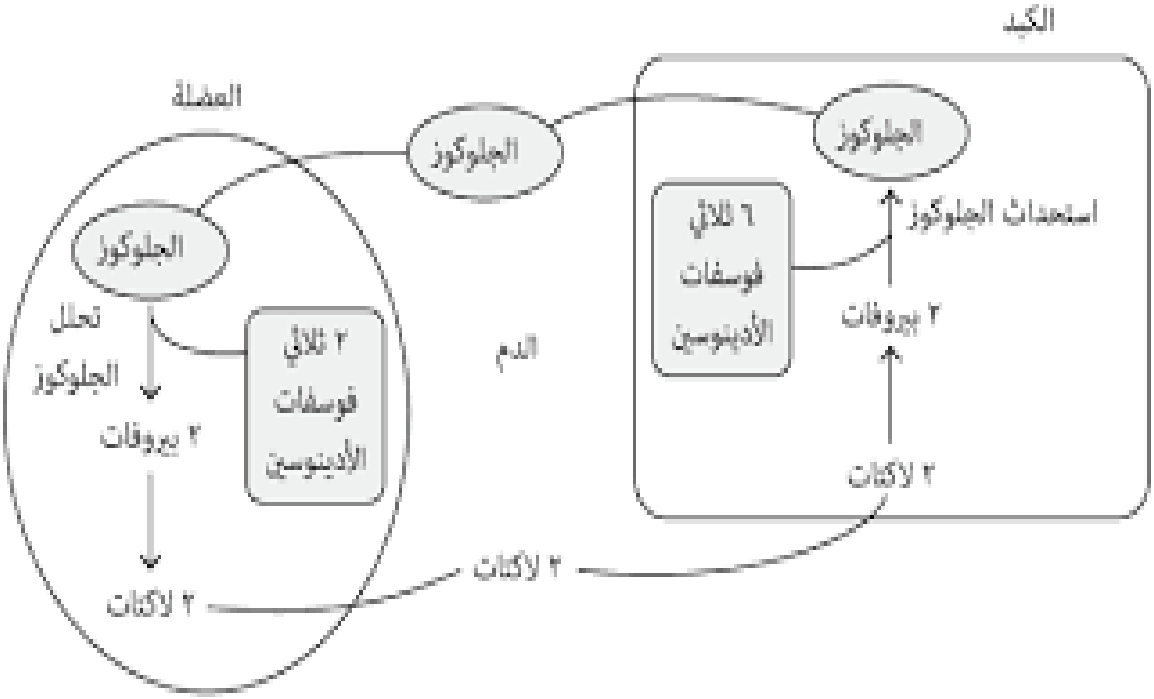
حين تمارس أجسامنا التمارين الرياضية، نبدأ في التنفس بوتيرة أسرع، محاولين نقل المزيد من الأكسجين إلى عضلاتنا العاملة؛ إذ يفضل الجسم توليد معظم طاقته مستعينًا بالطرق «الهوائية»، أي من خلال استنشاق الأكسجين.ومع ذلك، تقتضي بعض الحالات -كالفرار من حيوان يجرى

وراءك، أو حملك وزنًا ثقيلًا- إنتاجَ الطاقة بسرعة أكبر من تلك التي تستطيع بها أجسامنا الحصول على الأكسجين بشكل مناسب.في هذه الحالات، تنتج العضلات العاملة الطاقة بشكل يُعرف بأنه «لا هوائي»، وتأتي هذه الطاقة من الجلوكوز، عن طريق عملية تحلُّل الجلوكوز glycogenolysis، وهى عملية يتفكك فيها الجلوكوز ليتحول إلى مادة تسمى البيروفات pyruvate او حامض البيروفيك عبر سلسلة من الخطوات.

وعندما يكون لدى الجسم قدر وفير من الأكسجين، تنتقل البيروفت إلى مسار هوائي لكي تتفكك أكثر، مولدةً المزيد من الطاقة، لكن عندما يكون الأكسجين محدودًا، يحوّل الجسم البيروفات بشكل مؤقت إلى مادة تسمى حامض اللاكتيك، وهي مادة حمضية في طبيعتها، تساعد على تفكك الجلوكوز، وبالتالي يستمر إنتاج الطاقة.ويمكن أن تواصل العضلات العاملة هذا النوع من الإنتاج اللاهوائي للطاقة، بمعدلات مرتفعة لمدة تتراوح من دقيقة إلى ثلاث دقائق، تتراكم خلالها مادة اللاكتات لتصل إلى مستويات عالية في الجسم. وتمثل زيادة حموضة خلايا العضلات أحد الآثار الجانبية لمستويات اللاكتات العالية، جنبًا إلى جنب مع اضطراب مركبات أيضية أخرى . فأداء المسارات الأيضية ذاتها التي تسمح بتفكك الجلوكوز إلى طاقة يضعف في البيئة الحمضية.

وظاهريًّا، قد يبدو أن عملية إنتاج العضلات العاملة شيئًا يعمل على خفض قدرتها على القيام بمزيد من العمل هي نتيجة عكسية، ولكن في حقيقة الأمر، فإن هذه العملية بمنزلة آلية دفاع طبيعية للجسم؛ فهي تمنع حدوث تلف دائم في أثناء بذل هذا الجهد الشاق، من خلال إبطاء النظم الأساسية الضرورية للحفاظ على تقلص العضلات. وفور أن تنخفض سرعة الجسم،

ويبدأ توفر الأكسجين تتحول اللاكتات مرة أخرى إلى بيروفات، مما يتيح استمرار عملية التمثيل الغذائي الهوائية، وتوفر الطاقة اللازمة لتعافي الجسم من هذا الجهد الشاق



مخطط دورة كوري