جامعة جنوب الوادي

كلية العلوم بقنا

قسم الكيمياء

كيمياء حيوية 2 (الأيض)

إعداد

د/ حسين حسن عباس

لطلاب الفرقة الرابعة بكلية التربية شعبة العلوم البيولوجية و الجيولوجية

المحتوى

1- مقدمة عن الميتابوليزم (الأيض)

2- التمثيل الغذائي للكربوهيدرات

3- تحلل الجلوكوز

4- الأكسدة اللاهوائية لحمض البيروفيك

5- دورة كربس

6- التمثيل الغذائي للدهون

7- تحلل الدهون في المعدة

8- دورة العصارة الصفراوية في هضم الدهون

9- التمثيل الغذائي للبروتينات

10- تكسير الأحماض الأمينية

11- تحول الأحماض الأمينية الى دهون

12- تحول الأحماض الأمينية الى جلوكوز

جامعة الملك سعود
كلية العلوم
قسم الكيمياء الحيوية

كيمياء حيوية عامة (١٠١ كيح)

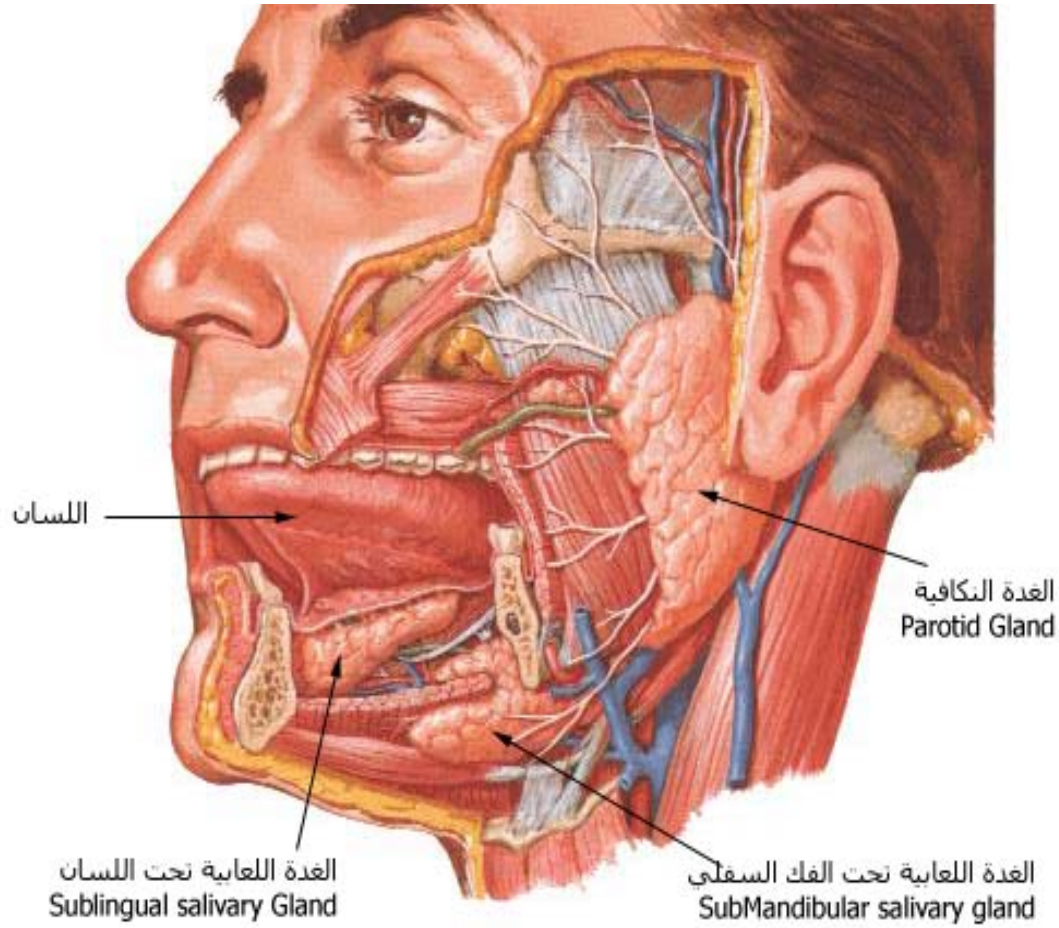
أيض الكربوهيدرات

CARBOHYDRATE METABOLISM

التمثيل الغذائي
(الميتابوليزم)
(الأيض)

بناء
Anabolism

هدم
Catabolism



.شكل (١–٢٠): الغدد اللعابية في الإنسان

نشا ← أميلوبكتينات ← إرثرو دكسترينات ← أكرو دكسترينات ← دكسترينات ← مالتوز

إنزيمات هدم الكربوهيدرات

١- ألفا أميليز أو إندوجلايكوسيديز يكسر الرابطة (α-1→ 4)
٢- بيتا أميليز أو إكسوجلايكوسيديز يكسر الروابط الخارجية أو الطرفية
٣- إنزيم أميلو ١،٦-جلوكوسيديز يكسر التفرعات عند الرابطة (α-1→ 6)
٤- إنزيم السيليوليز أو بيتا جلوكوسيديز تحلل السيليولوز الرابطة (β-1→4)
٥- جلايكوجين فوسفوريليز يحلل الجلايكوجين بواسطة التحلل الفوسفوري
٦- المالتيز يحلل الملتوز إلى ٢ جلوكوز
٧- السكريز يحلل السكروز إلى جلوكوز وفركتوز
٨- اللاكتيز أو بيتا جلاكتوزيديز يحل اللاكتوز إلى جلوكوز وجلاكتوز

تحلل السكريات الأحادية

بعد تحلل السكريات العديدة إلى سكريات أحادية تتحول الأحادية إلى جلوكوز أو فركتوز ٦- فوسفات اللذان يدخلان في سلسلة من التفاعلات للتحلل:

أولا تفاعلات في السيتوبلازم ولا تحتاج إلى أكسجين أي أكسدة لا هوائية (التحلل الجلايكولي Glycolysis)

يتحول الجلوكوز ٦- فوسفات إلى فركتوز ٦- فوسفات ثم إلى سلسلة من التفاعلات تنتهى بحمض البيروفيك

ثانياً: تفاعلات داخل الميتوكندريا تحتاج إلى أكسجين أي أكسدة هوائية (دورة كربس أو حمض الستريك أو الأحماض ثلاثية الكربوكسيل)

وفيها يتحلل البيروفيت خلال عدة تفاعلات إلى CO_2 وماء وطاقة

التمثيل الغذائي للكربوهيدرات

١ـ تحلل الجلوكوز Glycolysis

٢ـ دورة كربس

٣ـ بناء الجلايكوجين Glycogenesis

٤ـ استحداث الجلايكوجين Gluconeogenesis

٥ـ تحلل الجلايكوجين Glycogenolysis

التحلل الجلايكولي
Glycolysis

هو أكسدة الجلوكوز (٦ ذرات كربون) إلى جلوكوز ٦- فوسفات ثم إلى بيروفيت Pyruvate أو اللاكتات Lactate (٢جزيء x ٣ ذرات كربون) من خلال عشرة تفاعلات محفزة إنزيمياً

دورة كربس
Krebs Cycle

تمثل الخطوة النهائية في أكسدة الكربوهيدرات والليبيدات و البروتينات ويتم فيها أكسدة إنزيم أسيتيل أ المرافق (Acetyl Co A) إلي ثاني أكسيد الكربون والماء ويصحب ذلك انطلاق طاقة.

بناء الجلايكوجين
Glycogenesis

وتتضمن تكوين الجلايكوجين من الجلوكوز

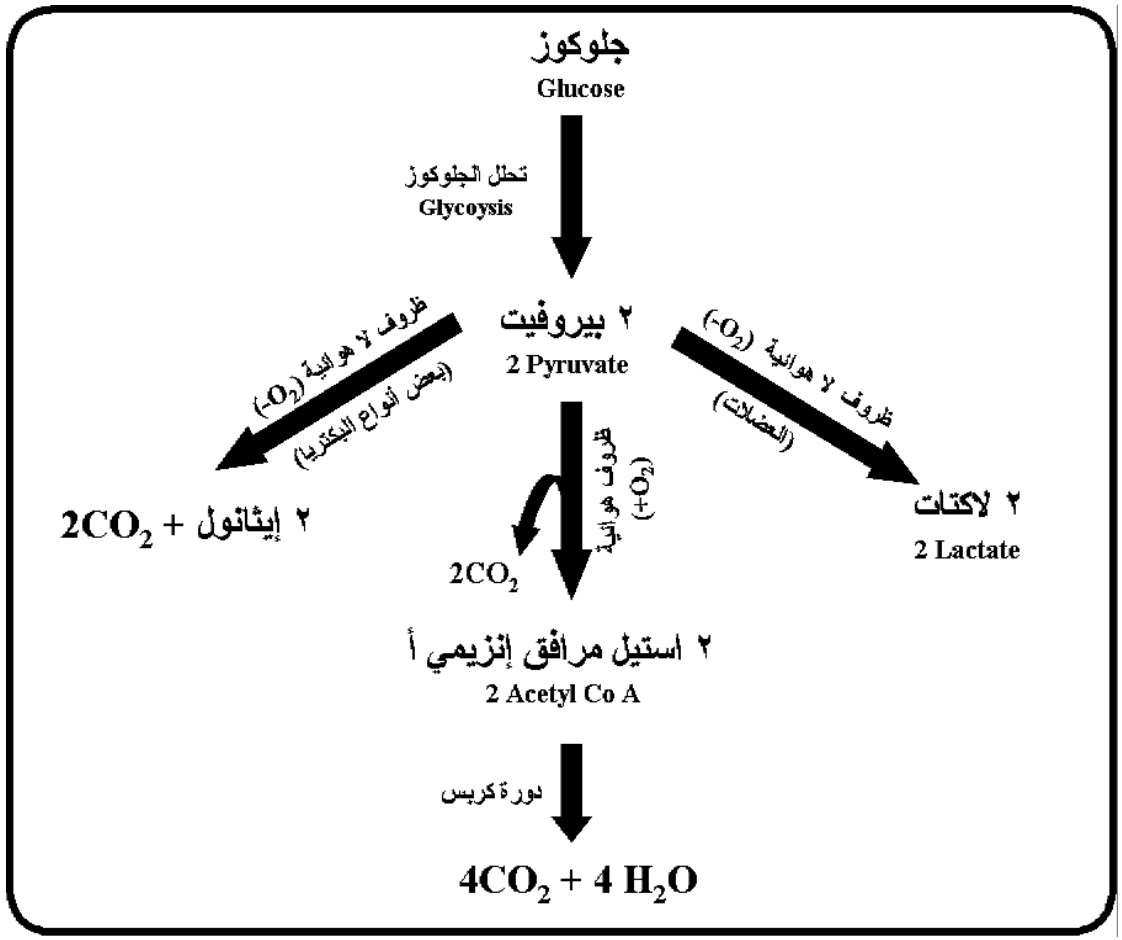
استحداث الجلايكوجين
Gluconeogenesis

هي عملية تكوين الجلايكوجين أو الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية مثل الأحماض الأمينية وحمض اللاكتيك Lactic و الجليسرين.

تحلل الجلايكوجين
Glycogenolysis

تتضمن تفتيت الجلايكوجين إلي جلوكوز في الكبد أو العضلات.

مصير البيروفيت الناتج من تحلل الجلوكوز
Fate of pyruvate produced from glycolysis



شكل (١– ٢١): مسارات أيض البيروفيت الناتج من تحلل الجلوكوز في كائنات مختلفة.

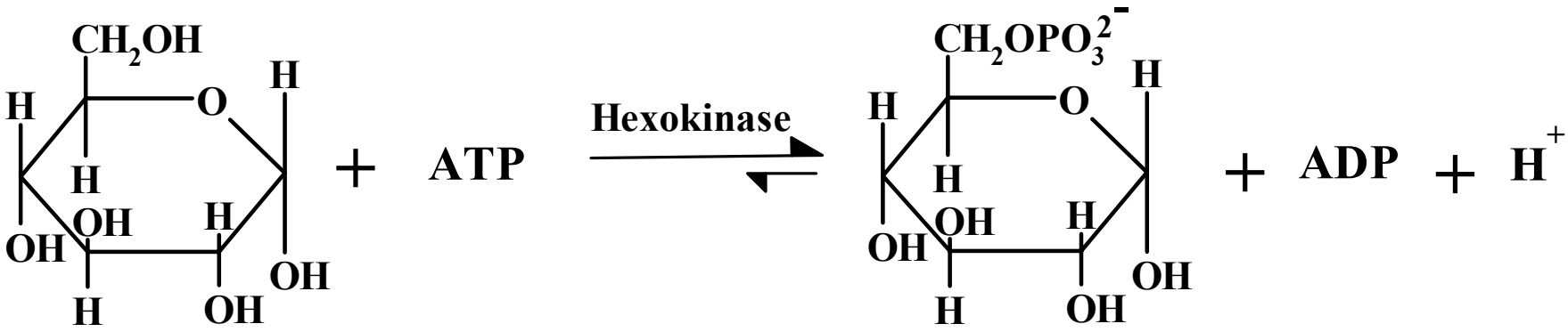
Glucose + 2 Pi + 2 ADP ⟶ 2 Pyruvate + 2 ATP

يتم التحلل الجلايكولي في مرحلتين:

المرحلة الأولي : تتكون من خمسة تفاعلات (١-٥) تبدأ بالجلوكوز وتنتهي بالجليسيرالدهايد ٣- فوسفات ويتم فيها استهلاك طاقة

المرحلة الثانية : تتكون من خمسة تفاعلات (٦-١٠) تبدأ بتحول بالجليسيرالدهايد ٣- فوسفات وتنتهي بتكوين البيروفيت ويتم فيها إنتاج طاقة

١- تحول الجلوكوز إلى جلوكوز ٦- فوسفات. داخل سيتوزول الخلية بواسطة إنزيم الهكسوكينيز Hexokinase في وجود أيون الماغنسيوم Mg^{2+} أو المنجنيز Mn^{2+} . ويتم استهلاك جزئ ATP

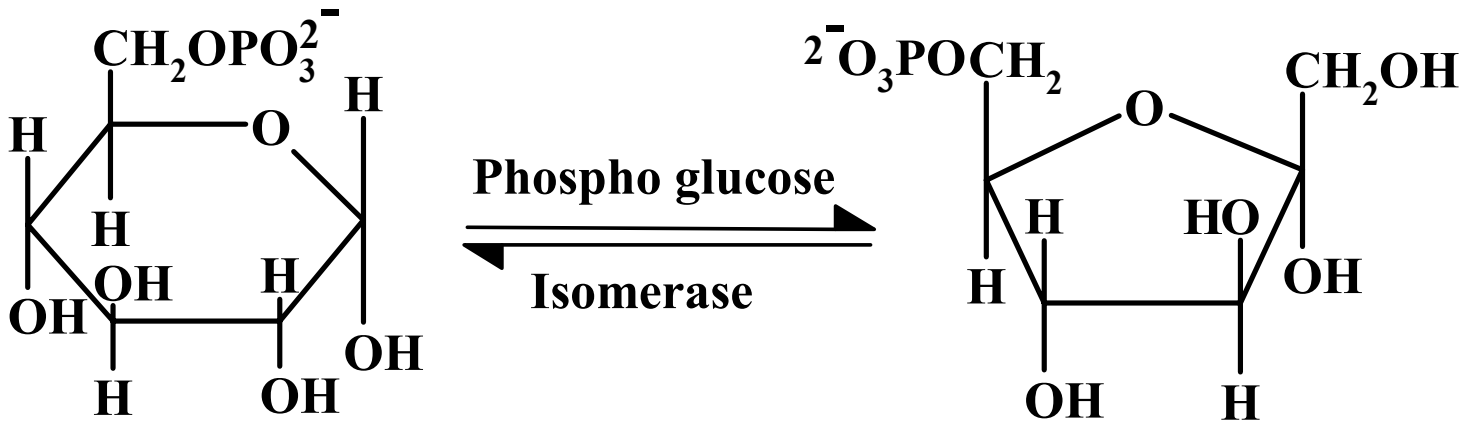


Glucose

Glucose 6- Phosphate

إذا زاد تركيز جلوكوز ٦- فوسفات المنتج فإنه يثبط انزيم الهكسوكينيز . لذلك فهو يمثل أحد نقاط التحكم في التحلل الجلايكولي

٢- تحول الجلوكوز ٦- فوسفات إلى فركتوز ٦- فوسفات بواسطة إنزيم فوسفو جلوكوز أيزوميريز Phosphoglucose Isomerase.

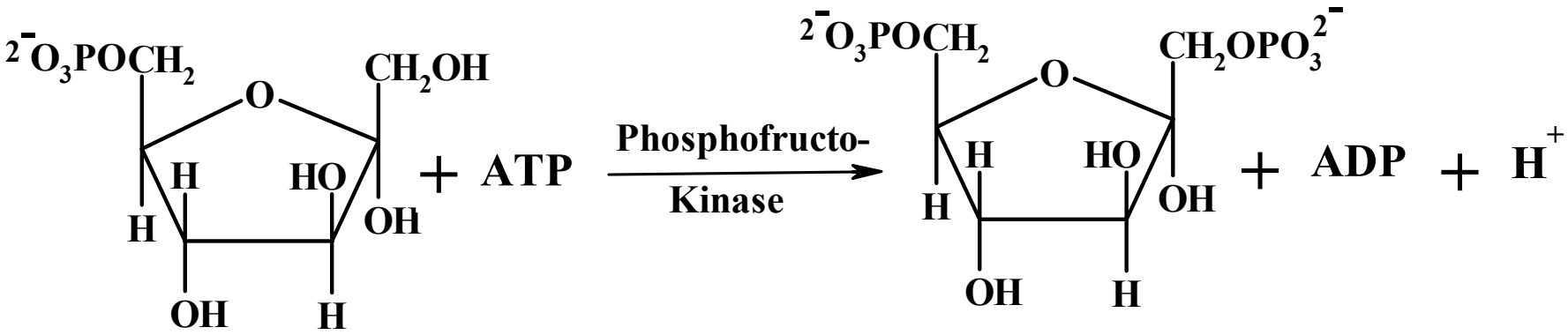


Glucose 6- Phosphate

Fructose 6- Phosphate

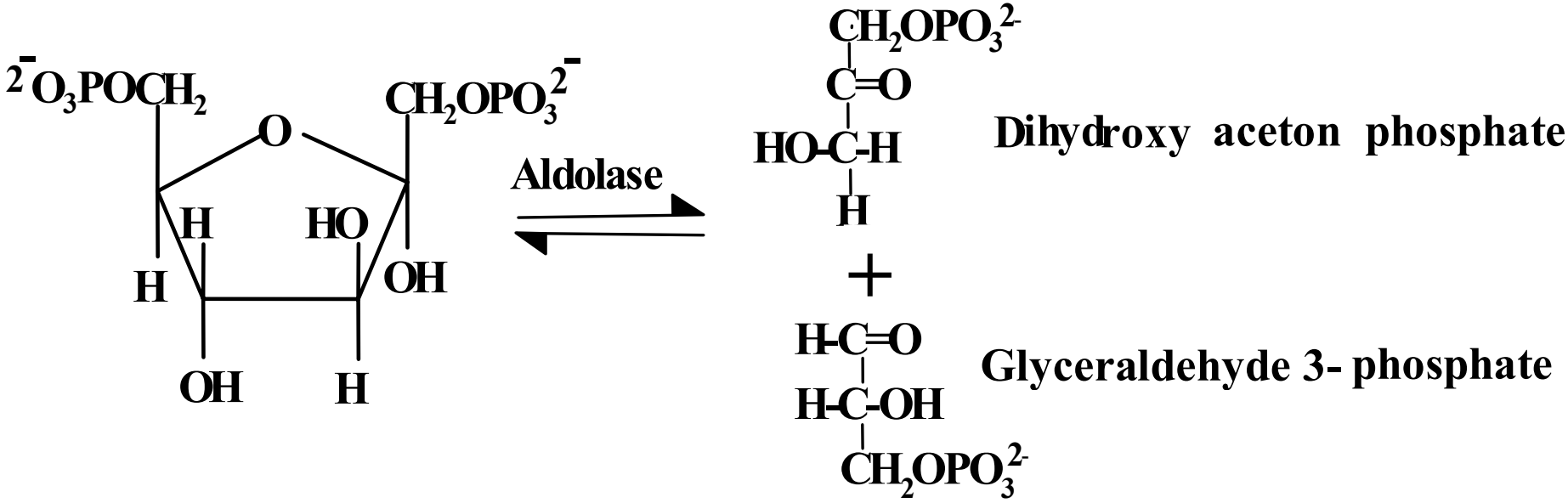
يعتبر الجلوكوز ٦- فوسفات والفركتوز ٦- فوسفات من المركبات التي تصل العديد من مسارات الأيض ولكن بعد تحول الفركتوز ٦- فوسفات في الخطوة القادمة إلى فركتوز ٦،١ ثنائي الفوسفات فإنه ليس له طريق إلا أن يكمل التحلل الجلايكولي

٣- تحول فركتوز ٦- فوسفات إلى فركتوز ١,٦- ثنائي الفوسفات بواسطة إنزيم فوسفو فركتو كينيز Phosphofructo Kinase ويتم استهلاك جزيء آخر من ATP.



Fructose 6- Phosphate **Fructose 1,6- diphosphate**

٤- إنشطار الفركتوز ٦,١- ثنائي الفوسفات (مركب يحتوي على ٦ ذرات كربون) إلى ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات (مركب يحتوي على ٣ ذرات كربون) و جليسرالدهايد ٣- فوسفات (مركب يحتوي على ٣ ذرات كربون) بواسطة إنزيم الألدوليز Aldolase.



Fructose 1,6 diphosphate

في البكتريا والفطريات يحتاج الألدوليز إلى أيون الزنك بينما الحيوانات لا تحتاج له

٥- تحول ثنائي هيدروكسي أسيتون فوسفات إلى جليسرالدهايد ٣- فوسفات بواسطة إنزيم ترايوز فوسفات أيزوميريز Triose Phosphate Isomerase الذي يعيد تشكيل أحد المركبين إلى الآخر.

وبهذا يكون حصيلة التفاعلات الخمسة هي تحلل جزيء واحد من الجلوكوز والحصول على جزيئين من جليسرالدهايد ٣ فوسفات واستهلاك جزئيئين من ATP.

Dihydroxyacetone Phosphate

Glyceraldehyde 3- Phosphate

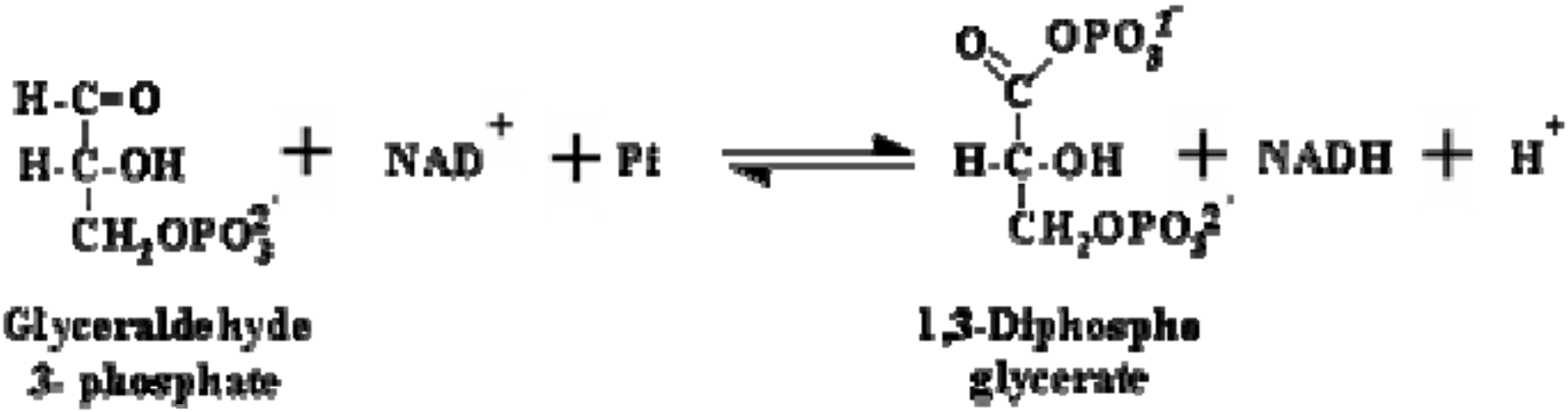
التفاعلات من ١-٥ تفاعلات استهلاك طاقة

يتكون جزيئين من جليسيرالدهايد ٣- فوسفات

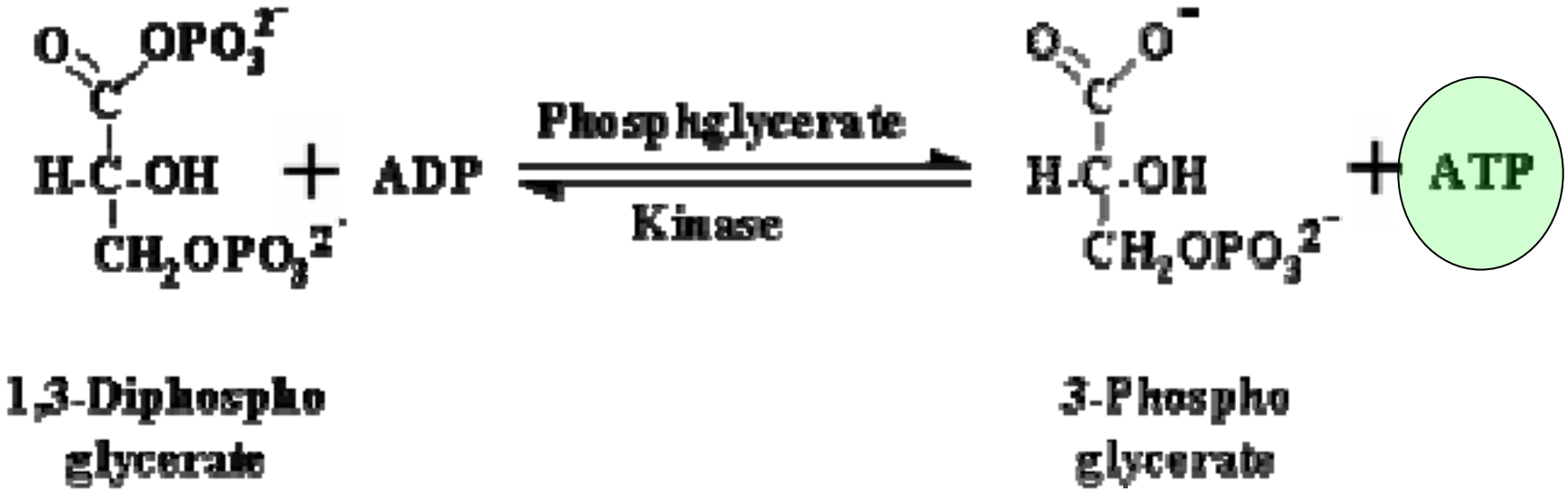
يؤثر تركيز الجليسيرالدهايد على اتجاه التفاعل فلو كان التركيز منخفضاً يكون التفاعل في اتجاه اليمين

٦- تحول جزيئان من جليسرالدهايد ٣- فوسفات إلى جزيئين من ٣,١ – ثنائي فوسفو جليسرات بواسطة إنزيم جليسرالدهايد ٣- فوسفات دي هيدروجينيز في وجود المرافق الإنزيمي نيكوتين أميد أدنين ثنائي النيوكليوتيد وفي هذا التفاعل يتكون ٣,١- ثنائي فوسفو جليسرات العالي الطاقة

ويتم كذلك انتقال الكترون من جليسيرالدهايد ٣- فوسفات إلى NAD^+ وهذا التفاعل ماص للطاقة

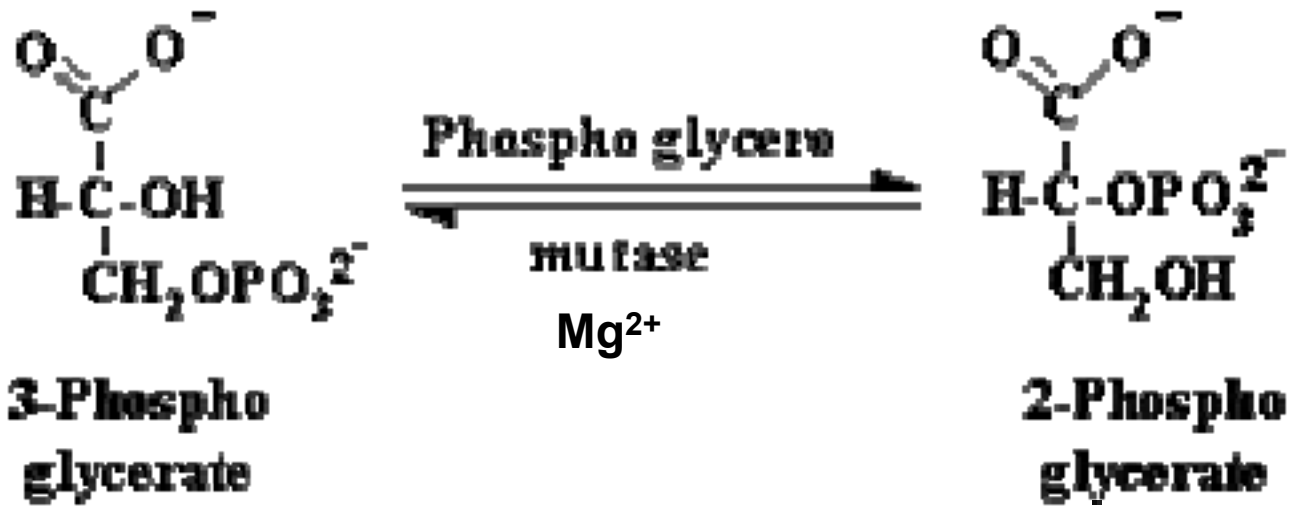


٧- تحول جزيئان ٣,١– ثنائي فوسفو جليسرات إلى جزيئين ٣ - فوسفو جليسرات وتكوين 2ATP من 2ADP بمساعدة إنزيم فوسفو جليسرات كينيز

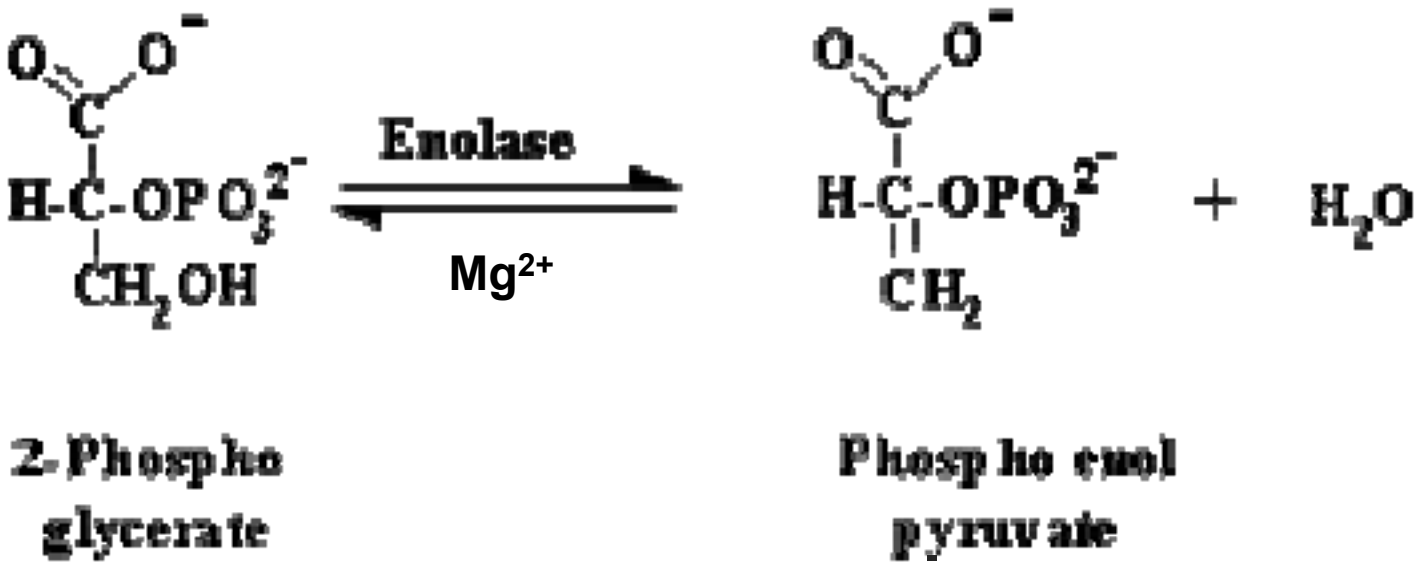


تسمى هذا النوع من الفسفرة أنه على مستوى مادة التفاعل أي تنتقل الفوسفات إلى ADP دون نقل الكترونات (على خلاف الفسفرة التأكسدية oxidative phosphorylation)

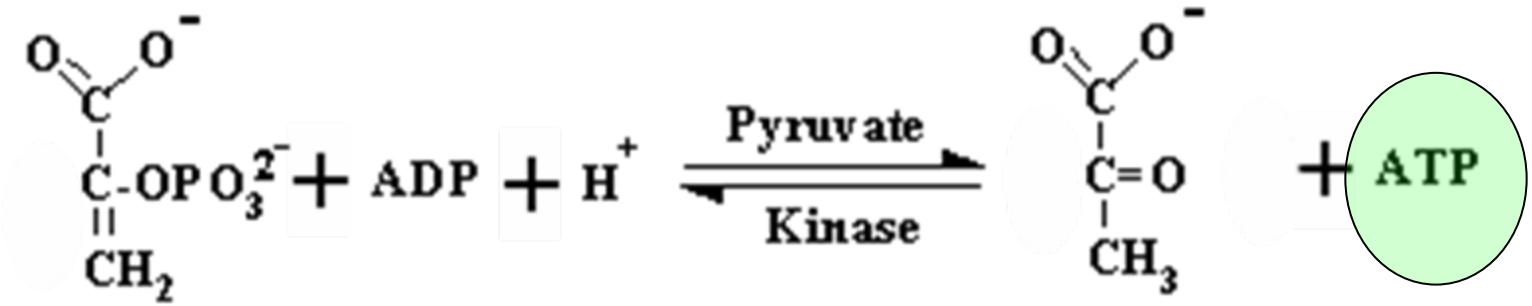
٨- تحول ٣- فوسفو جليسرات إلى ٢- فوسفو جليسرات عن طريق نقل مجموعة الفوسفات من الموقع ٣ إلى ٢ بمساعدة إنزيم فوسفو جليسرو ميوتيز Phospho glycero mutase ووجود أيون الماغنسيوم Mg^{2+}.



٩- تكون فوسفو إينول بيروفيت (مركب غنى بالطاقة) من ٢- فوسفو جليسرات بمساعدة إنزيم إينوليز Enolase ووجود أيون الماغنسيوم أو المنجنيز.



١٠- تكون البيروفيت و ATP من فوسفو إينول بيروفيت و ADP بواسطة إنزيم فوسفو إينول بيروفيت كينيز Phospho enol pyruvate Kinase في وجود أيونات البوتاسيوم K^+.



Phospho enol pyruvate

Pyruvate

التركيز العالي من ATP يثبط التفاعل

حصيلة الطاقة الممثلة فى ATP هى كالتالى:

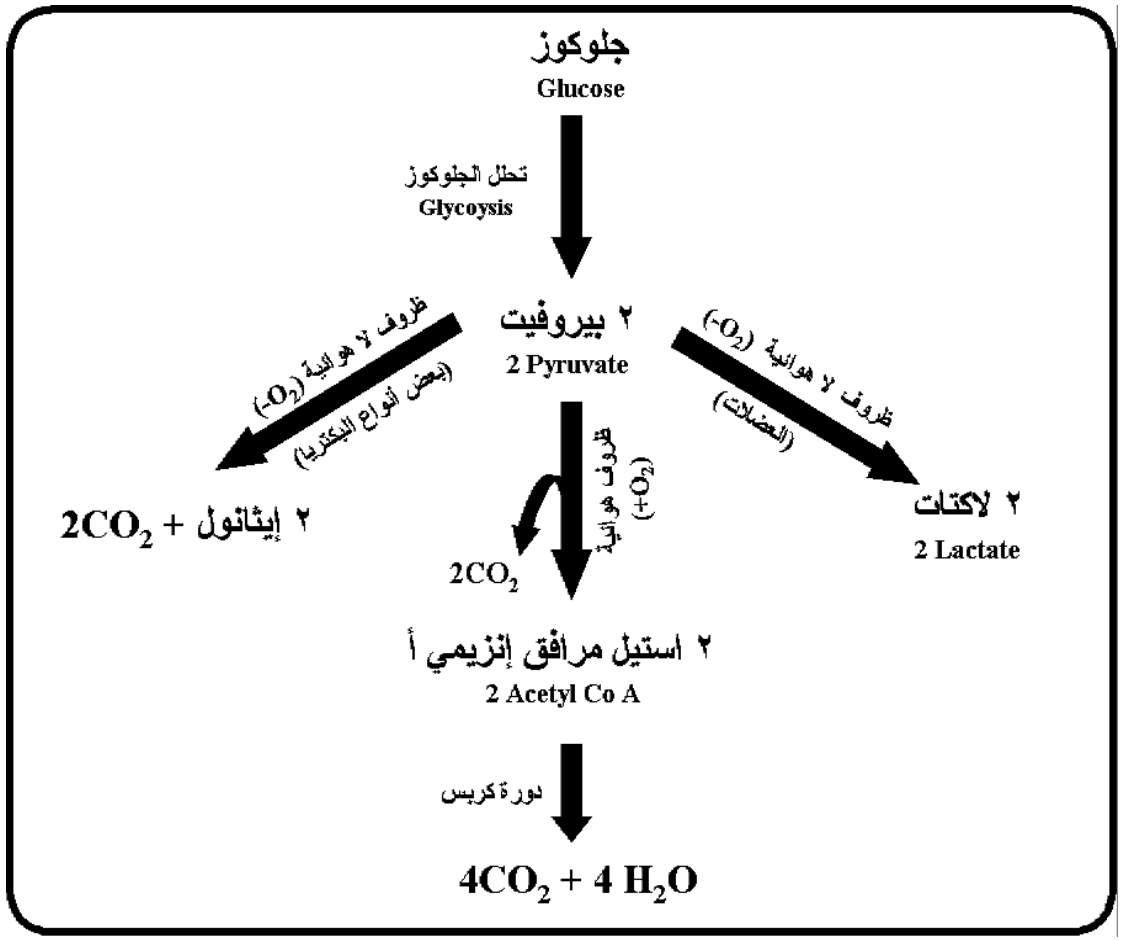
- استهلاك 1ATP في الخطوة ١
- استهلاك 1ATP في الخطوة ٣
- إنتاج 2ATP في الخطوة ٧ (باعتبار أن الجلوكوز انشطر إلى جزيئين من جليسرالدهايد ٣ فوسفات وكل جزيء جليسرالدهايد يعطي 1ATP)
- إنتاج 2ATP في الخطوة ١٠ (باعتبار وجود جزيئان من ٣ فوسفو إينول بيروفيت يعطي كل منهما 1ATP)
- وبالتالي يكون الناتج ٤ - ٢ = ٢

- يلاحظ أن جميع المركبات الوسطية التسعة بين الجلوكوز والبيروفيت مفسفرة (لماذا؟)
- أي أنها متأينة عن pH الفسيولوجية وتحمل شحنة سالبة تمنعها من المرور خلال الأغشية الخلوية لتظل في السيتوسول
- اما البيروفيت أو اللاكتات يمكن أن يمرا فمثلاً ينتقل البيروفيت من السيتوسول إلى الميتوكوندريا نظراً لأنه غير مفسفر ليبدأ الأكسدة الهوائية (دورة كربس)

نقاط التحكم في مسار التحلل الجلايكولي

- **توجد ثلاثة نقاط يتم التحكم من خلالهم بمسار التحلل الجلايكولي حسب احتياج الخلية للطاقة:**
  - تحول الجلوكوز إلى جلوكوز ٦- فوسفات (الخطوة ١)
  - تحول الفركتوز ٦- فوسفات إلى فركتوز ١-٦ ثنائي الفوسفات (الخطوة ٣)
  - تحول الفوسفو إينول بيروفيت إلى بيروفيت (الخطوة ١٠)

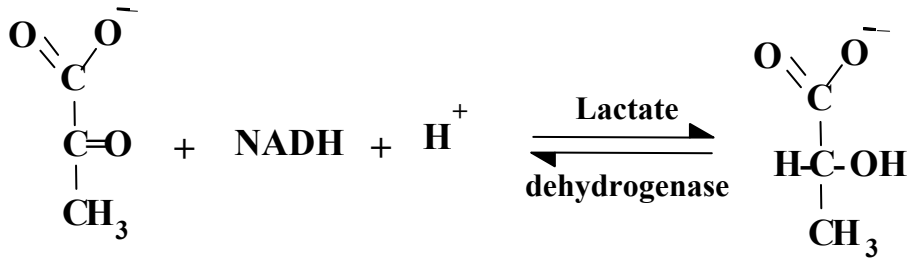
مصير البيروفيت الناتج من تحلل الجلوكوز
Fate of pyruvate produced from glycolysis



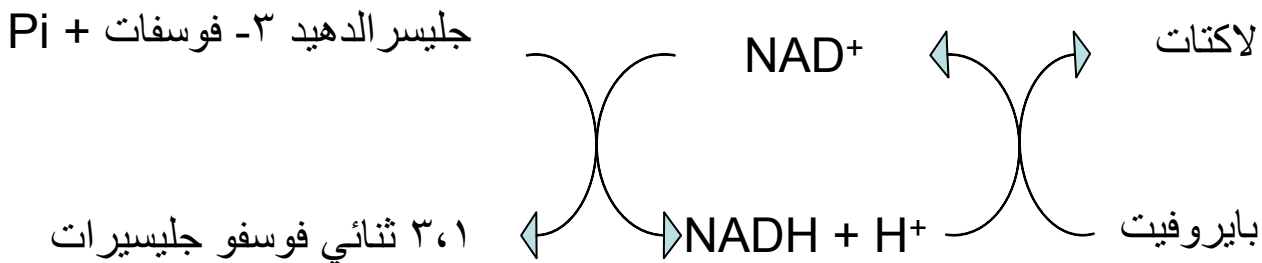
شكل (١– ٢١): مسارات أيض البيروفيت الناتج من تحلل الجلوكوز في كائنات مختلفة.

التفاعلات اللاهوائية للبيروفيت وتحويله إلى لاكتات في العضلات

- في غياب الأكسجين في العضلات أو في بكتريا حمض اللاكتيك يتحول البيروفيت إلى لاكتات بواسطة إنزيم لاكتات ديهيدروجينيز LDH



Pyruvate **Lactate**



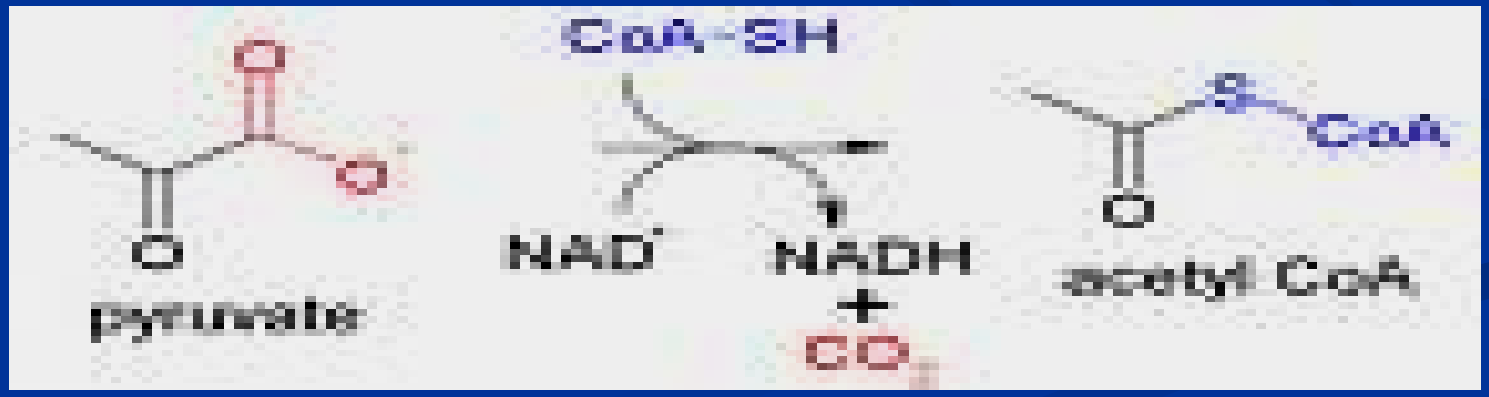
دورة كربس

دورة كربس

- ويطلق عليها أيضا دورة حمض السيتريك أو دورة حمض ثلاثي الكربوكسيليك
- في وجود هواء تتم عملية اكسدةالجلوكوز الى CO_2وماء وطاقه بشكل كامل.
- حيث تبدأ عملية الجلايكوليسس من الجلوكوز وتنتهي بتحويله الى بيروفيت.
- من ثم البيروفيت تؤكسد الى CO_2 وماء وطاقه عن طريق دورة كربس.
-

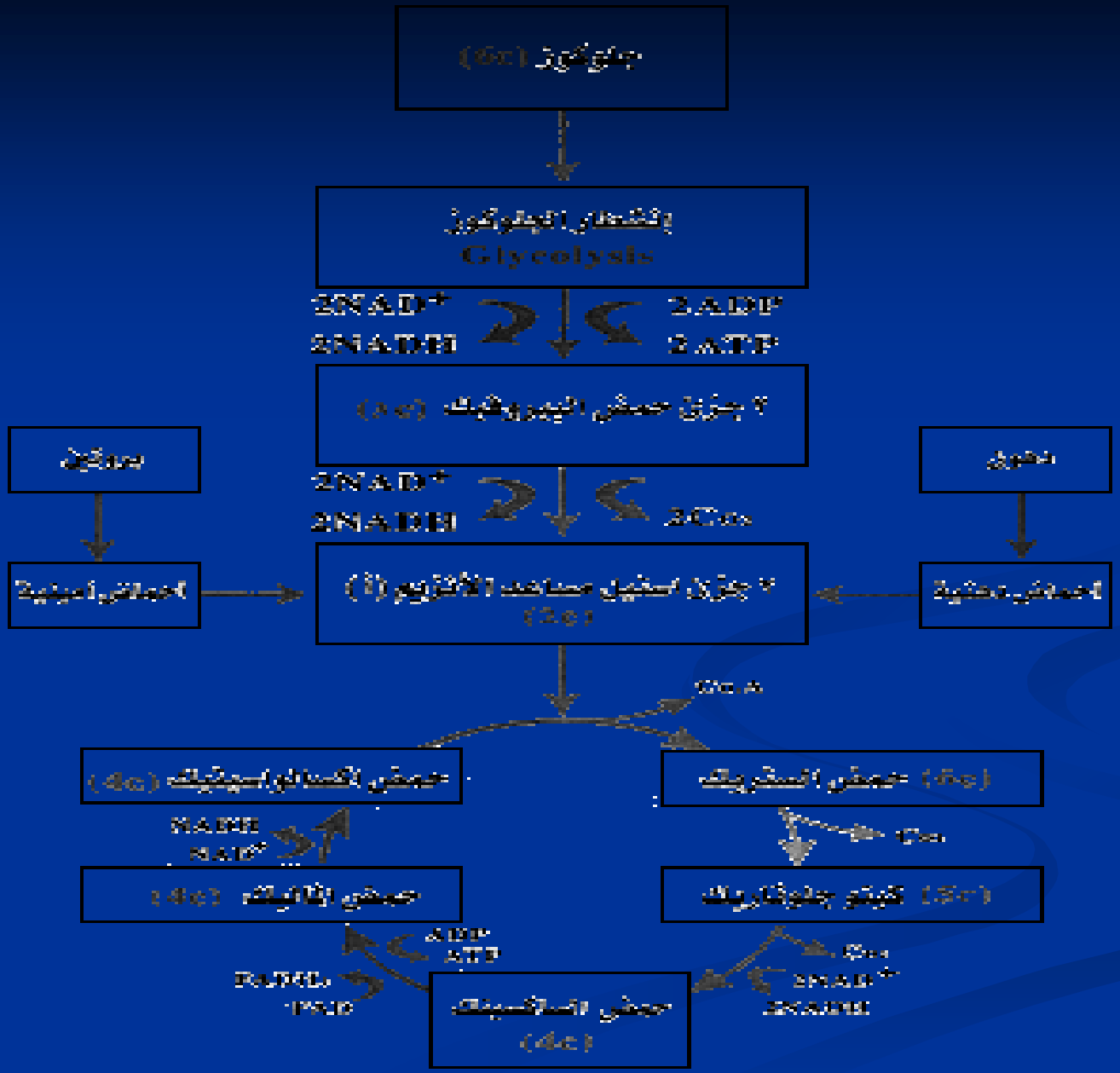
اكسدة البيروفيت

- يدخل ابيروفيت في دورة كربس اولا عن طريق اكسدته الى الأسيتيل -CoA ويحدث هذا التفاعل في الميتوكندريا وفي هذا التفاعل تفقد مجموعة كربوكسيل على شكل ثاني اكسي الكربون عن طريق تفاعل (نزع الكربوكسيل التأكسدي) عن طريق أنزيم البيروفيت ديهيدروجينيز.



دورة كربس

- دورة كربس تحتوي على 8 خطوات
- مركب الأسيتيل- CoA يمكن الحصول عليه من الاحماض الدهنيه و الأمينيه ومن اكسدة البيروفيت(الناتج من الجلايكوليسس) ---- مصادر الاستيل- CoA---
- جزيء واحد من الاستيل- CoA يتحلل في دورة كربس الى جزيئين CO_2 , و طاقه على شكل ذرات هيدروجين (عن طريق اختزال مركبات NADالى NADH(ثلاث جزيئات طاقه) FAD الى FADH(جزي واحد من الطاقه).
- ينتج كذلك جزيء من GTP
- NADH, FADH, GTP → ATP


جلوكوز (6c)
إنشطار الجلوكوز
Glycolysis
2NAD+
2NADH
2ADP
2ATP
2 بيروفيك حمض (3c)
2NAD+
2NADH
2Co2
2 جزئ استيل مساعد الأنزيم (أ)
(2c)
CO2
حمض الستريك (6c)
Co2
كيتو جلوتاريك (5c)
Co2
2NAD+
2NADH
حمض السكسينك
(4c)
ADP
ATP
FADH2
FAD
حمض الفيوماريك (4c)
NADH
NAD+
حمض الأكسالوأسيتيك (4c)
أحماض أمينية
أحماض دهنية

- في التفاعل الاول: تنقل مجموعة الاستيل من الاستيل- CoA (2C)الى الاكسالواستيت(4C) لتكوين الستريت (6C)

تفاعل غير عكسي, يحتاج الى جزيء ماء لكسر الرابطه بين مجموعة الأستيل و CoA بالتالي يتحرر CoA

- في التفاعل الثاني: تفاعل غير عكسي و تتحول الستريت الى أيزوسيتريت.
- في التفاعل الثالث: توكسد الأيزوسيتريت الى ألفاكيتوجلوتريت(مركب من 5 ذرات الكربون) عن طريق انزيم الأيزوسيتريت ديهيدروجينيز. تفاعل غير عكسي
- يفقد مجموعة كربوكسيل على شكل ثاني اكسيد الكربون التي تحتاج الى ايون مغنيز كعامل مساعد. يتم نزع هيدروجين واختزال NADالى NADH

- التفاعل الرابع:

تؤكسد الفاكيتوجلوتاريت الى سكسينيل- CoA (4 كربون) عن طريق الانزيم الفاكيتوجلوتاريت ديهيدروجينيز. تفاعل غير عكسي , يفقد مجموعة كربوكسيل على شكل ثاني اكسيد الكربون التي تحتاج الى ايون مغنيز كعامل مساعد. يتم نزع هيدروجين واختزال NADالى NADH يحتاج التفاعل الى CoA.

التفاعل الخامس:

يتحلل السكسينيل- CoA الى السكسنيت و CoA عن طريق انزيم سكسنيت ثيوكينيز. ينتج GTPهو مركب عالي الطاقه.

تنتقل الطاقه من GTP الى ATP

$$GTP+ADP \rightarrow GDP+ATP$$

- التفاعل السادس:

تفاعل اكسده واختزال. يتأكسد السكسنيت الى فيوماريت عن طريق انزيم السكسنيت ديهيدروجينيز. يتم نزع هيدروجين واختزال FAD الى FADH

التفاعل السابع:

يتحول الفيوميريت الى ماليت بإضافة ماء عن طريق الأنزيم فيومريز.

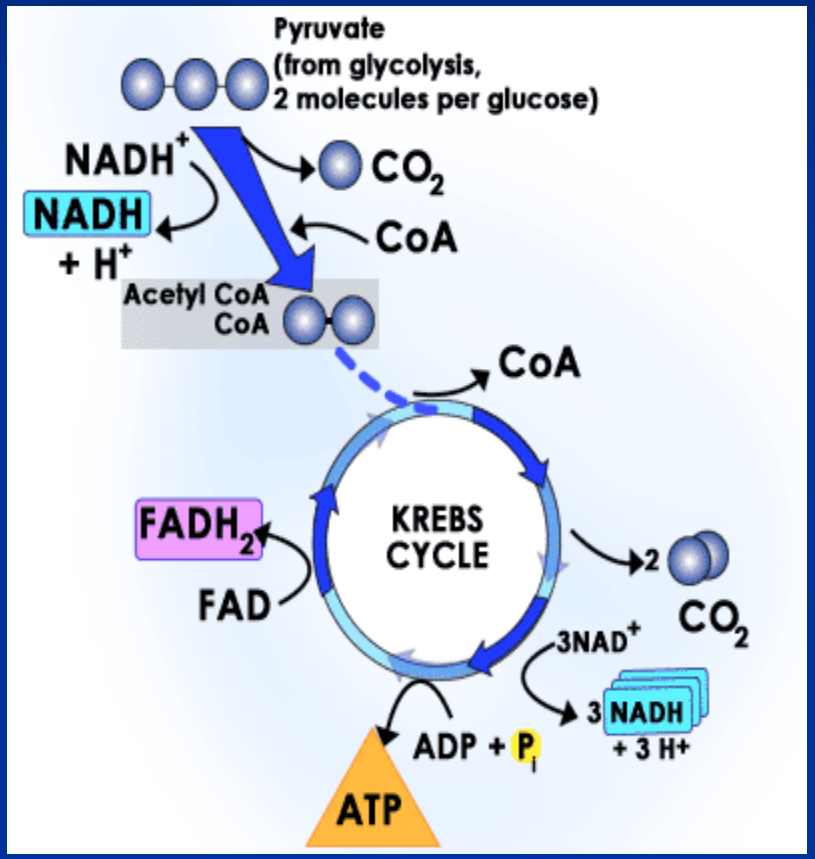
التفاعل الثامن:

تكتمل دورة كربس بهذا التفاعل, تفاعل اكسدة واختزال

تؤكسد الماليت الى الاكسالواستيت عن طريق انزيم ماليت ديهيدروجينيز

يتم نزع هيدروجين واختزال جزي NADالى NADH

الناتج



- لجزي واحد من الاستيل- CoA :
  - انتاج جزي من الطاقة ATP على شكل GTP
  - انتاج 3 جزيئات NADH الذي يتم اكسدته في الميتوكندريا ليعطي ATP(3 جزيئات)
  - انتاج جزيء من FADH2 الذي تتم اكسدته في الميتوكندريا ليعطي ATP (2 "جزيئين ")
  - مجموع ATP يكون 12 جزيء
- يوجد جزيئين من البيروفيت في اول تفاعل ونتج جزيئين من الاستيل – CoA لذا يجب ضرب النواتج السابقه في 2 فيكون مجموع ATP يكون 24 جزيء
- في تفاعل اكسدة البيروفيت يوجد جزيئين من NADH الذي يساوي 6 ATP

حساب الطاقه

العمليه	الناتج ATPمباشرة	العوامل المختزله	حساب الناتج من عوامل الاختزال ATP	المجموع
الجلايكوليسس	2ATP	2NADH	6 ATP	8
اكسدة البيروفيت		2NADH	6 ATP	6
دورة كربس	2ATP	2NADH 2FADH2	18 ATP 4 ATP	24
				38

هضم الدهـــون

Lipid Digestion

هضم الدهون
Lipid Digestion

- بالإضافة إلى الأنزيمات الخاصة بهضم الدهون، يعتمد هضم الدهون على **عصارة الصفراء** التي تنتج في الكبد وتخزن في المرارة .

هضم الدهون

- في جزيئات الدهون أو **ثلاثيات الجليسرايد** (Triglycerides) لا بد من تحرير اثنين على الأقل من الأحماض الدهنية لينتج أحادي الجليسرايد القابل للامتصاص ، ويتم ذلك بمساعدة أنزيم **اللايبيز** .

هضم الدهون

- وهناك نوعان من اللايبيز:

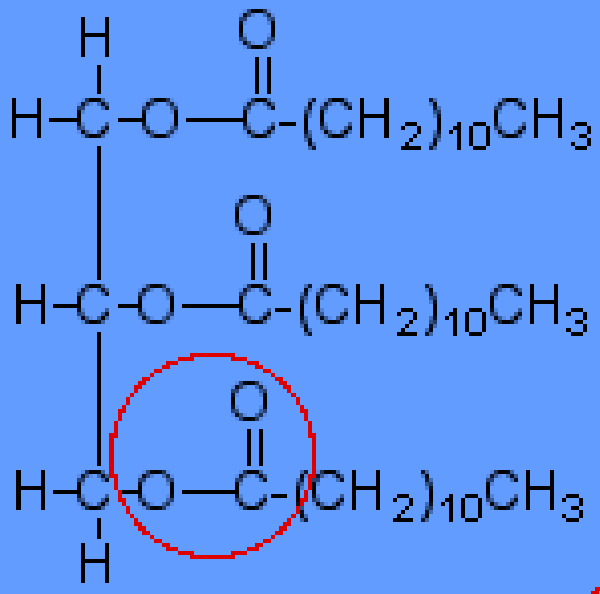
1. لايبيز يفرز من غدد في اللسان، يعرف **باللايبيز اللساني.**

2. **اللايبيز** الثاني يفرز من **البنكرياس.**

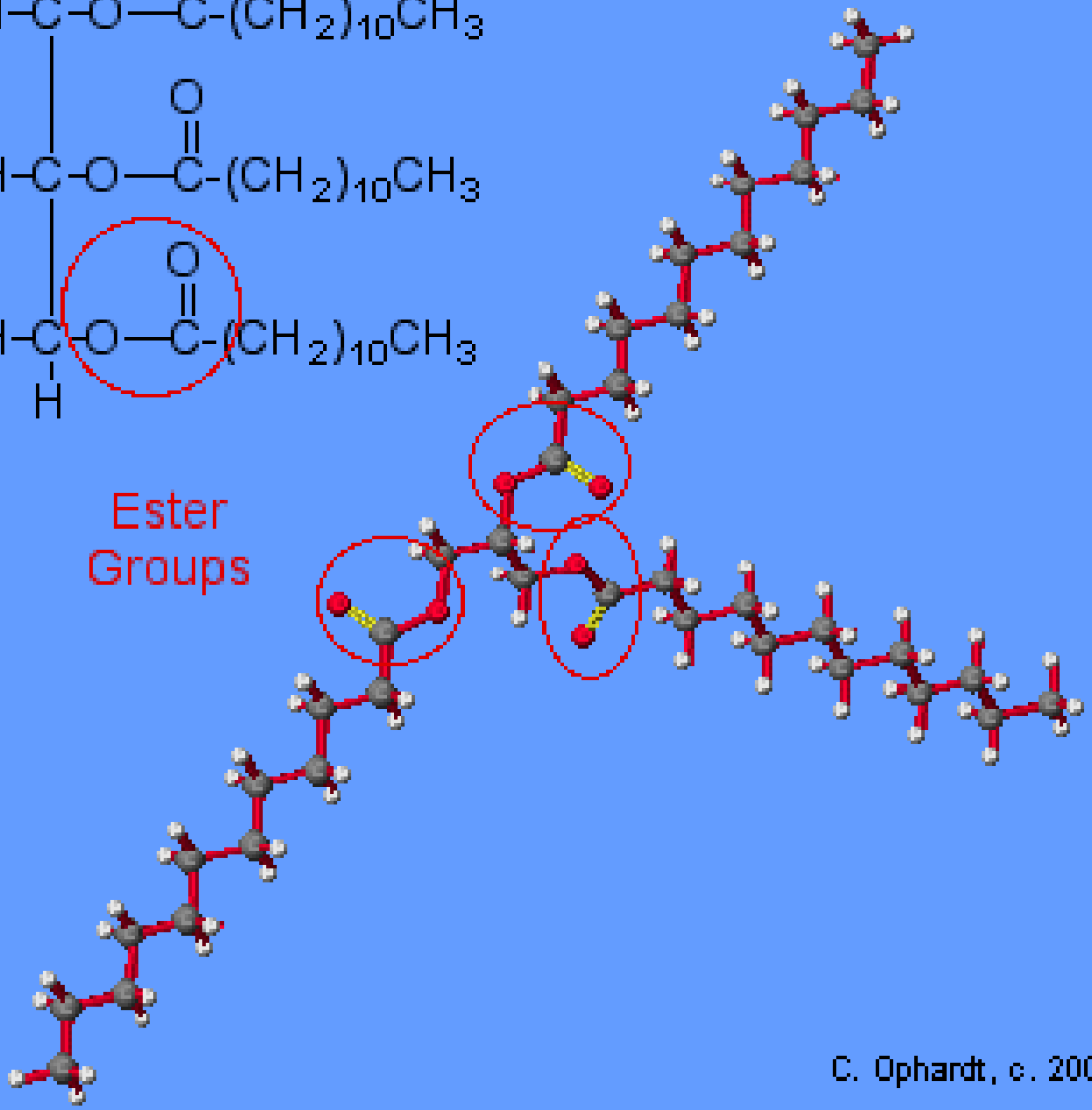
هضم الدهون

- ويبدأ هضم الدهون في الفم بواسطة **الليبيز اللساني** و لكن هذا الهضم لايذكر لإن بقاء الطعام في الفم لا يكون إلا لمدة قليلة.
- المقاومة التي يتمتع بها هذا الانزيم نحو الحموضة العالية تجعل من الممكن للطعام ، الذي يمكث في المعدة ما بين ساعتين إلى أربع ساعات في العادة ، أن يهضم جزئياً بواسطة اللاايبيز اللساني, ويعمل هذا الإنزيم على فك الارتباط الاستري على الموقع الثالث .

Trilauroylglycerol



Ester Groups



C. Ophardt, c. 2003

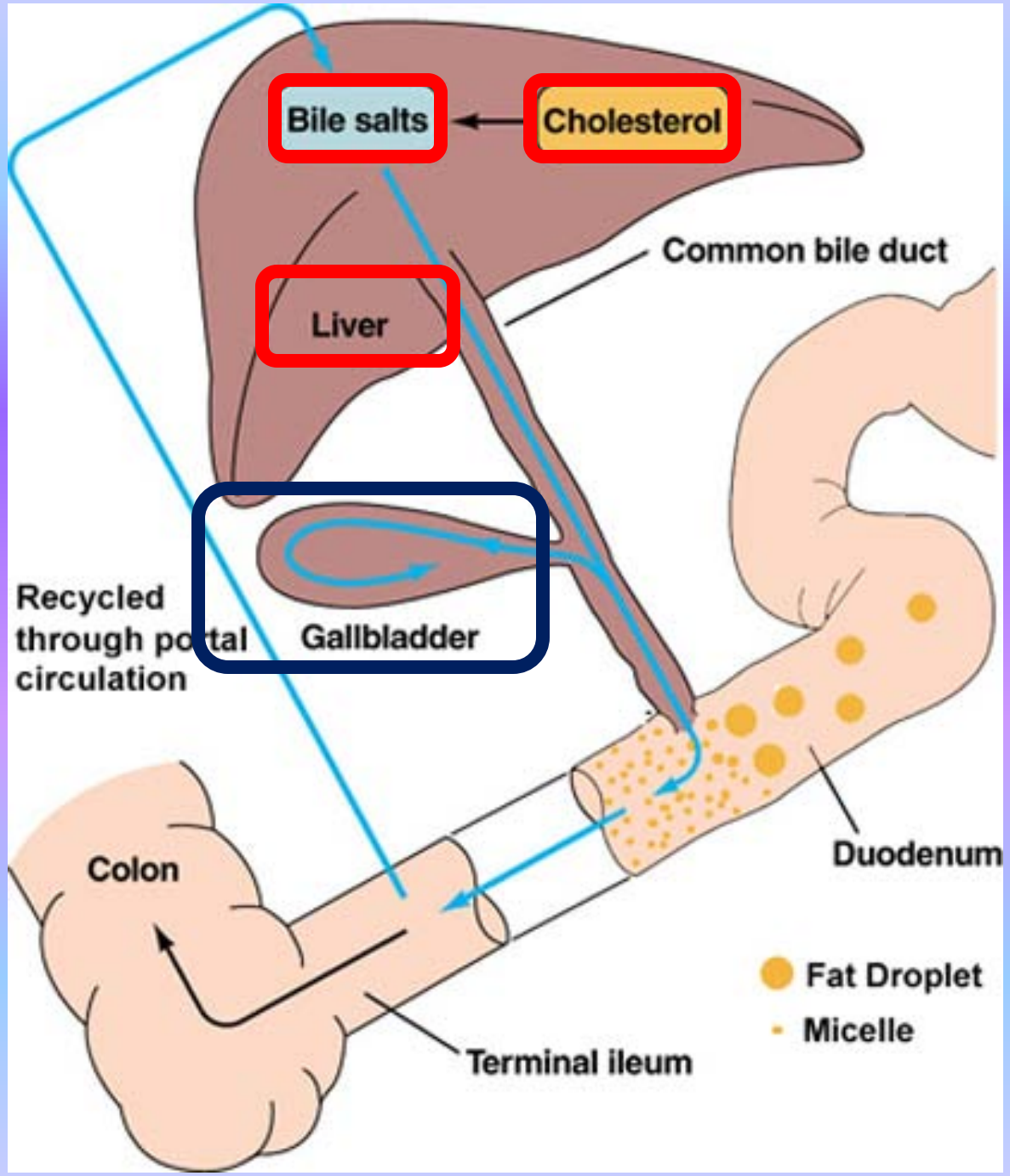
ثلاثي أسيل جليسرول

هضم الدهون في المعدة

- في عصارة المعدة لا يوجد أي انزيم آخر مختص بهضم الدهون ، لكن في المعدة تؤدي تقلصات المعدة المتتالية إلى مزج الدهون مع الماء وتكون مستحلب **Emulsion** ، تساعد على تكونه أيضاً الأحماض الدهنية التي تحررت بفعل **اللايبيز اللساني** .

دور الكبد في هضم الدهـون

- يلعب الكبد دوراً مهماً وأساسياً في هضم الدهون وامتصاصها من خلال إنتاجه وإفرازه المستمر **لعصارة الصفراء**، وتخزن عصارة الصفراء التي ينتجها الكبد دون توقف في حويصلة المرارة ، فإذا ما عبرت محتويات المعدة إلى الأمعاء تفرز **عصارة الصفراء** من المرارة وتمتزج عصارة الصفراء مع عصارة البنكرياس لتدخلا معاً إلى الأمعاء حيث تباشران معاً في هضم الدهون الواردة من المعدة .



عصارة الصفراء

إنتاجها: في الكبد

و تخزينها: في المرارة

دور الكبد في هضم الدهون

- عصارة الصفراء التي تفرزها المرارة تتكون من:

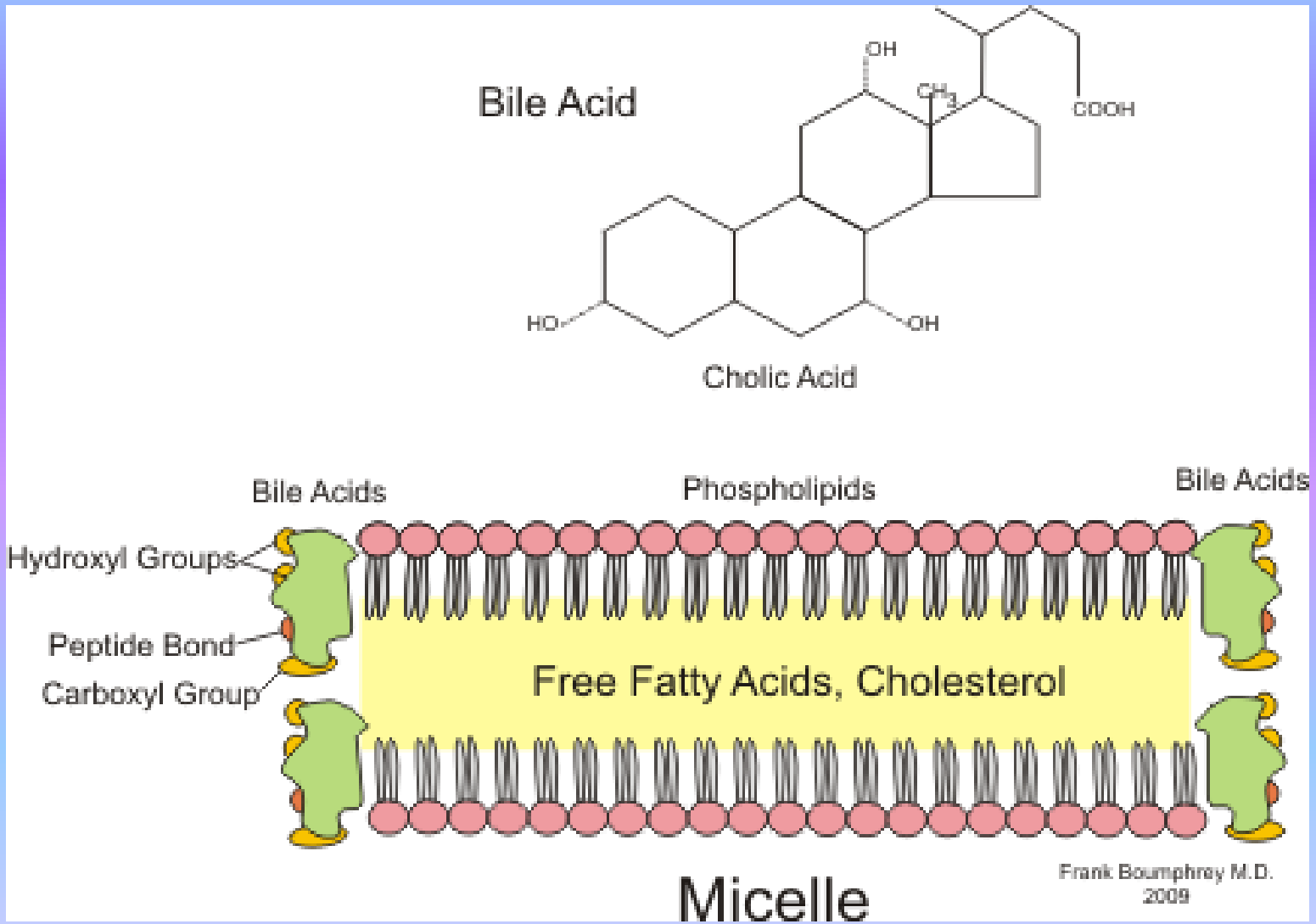
1. الماء
2. أملاح الصفراء
3. أصبغة الصفراء .
4. الباقي فهو من الكوليسترول والأملاح غير العضوية .

استحلاب الدهون أثناء الهضم

- ولعصارة الصفراء وظائف متعددة نوجزها فيما يلي :

- استحلاب الدهون أثناء الهضم : ويعود الفضل في ذلك إلى أملاح الصفراء, المركبات التي تصنع في خلايا الكبد بدءاً من الكوليستيرول .
- تمتاز أملاح الصفراء بمقدرتها على تشكيل **المسيلات (المذيلات) Micelles** مع الدهون واستحلابها.

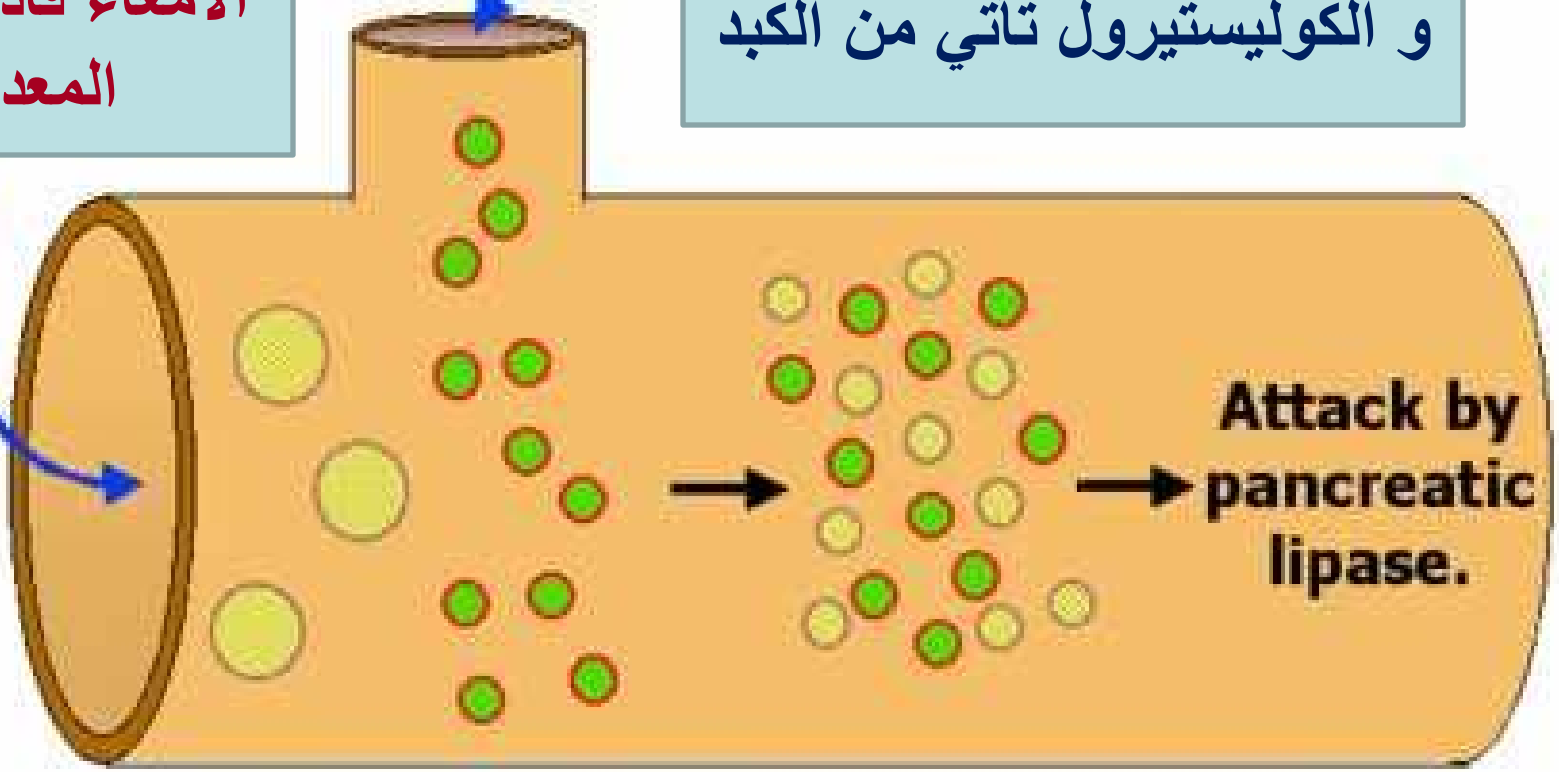
دور أملاح الصفراء في هضم الدهون



Overview of lipid digestion

الدهون تدخل الأمعاء قادمة من المعدة

أملاح الصفراء و الليسيثين و الكوليستيرول تأتي من الكبد

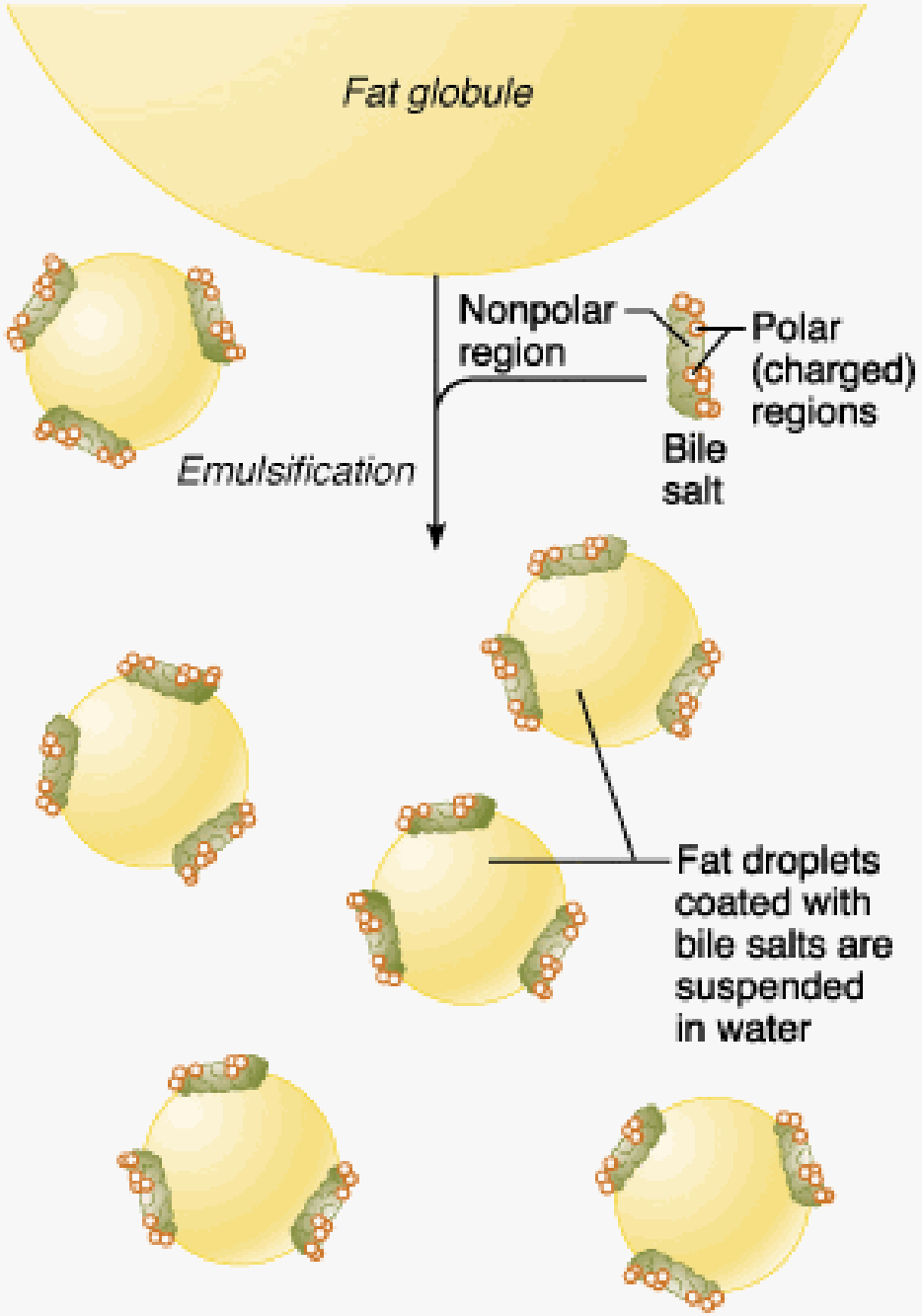


تكوين المستحلبات أثناء هضم الدهون

- **تتكون المستحلبات أثناء هضم الدهون** وذلك بسبب بناء أملاح الصفراء الذي يحتوي على مجموعة منجذبة للماء Hydrophilic و المرتبطة **بالنواة الستيرويدية** المجموعة النافرة من الماء Hydrophobic .

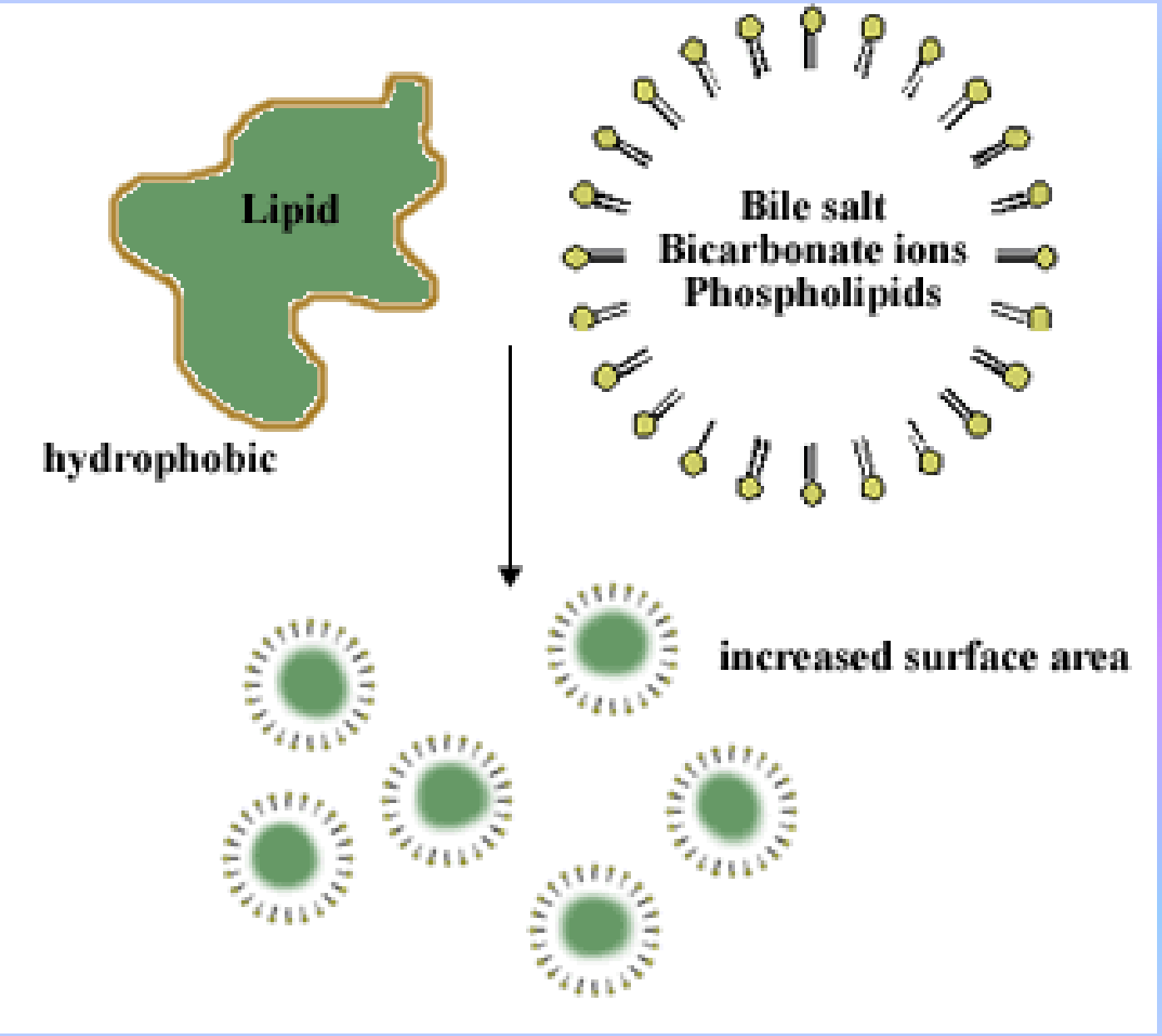
تكوين المستحلبات أثناء هضم الدهون

- . فإذا ما وجدت أملاح الصفراء في الماء تتشكل الميسيلات وهي تجمعات متعددة الجزيئات تتقارب فيها الأجزاء النافرة من الماء وتتجمع في المركز بينما تبرز المجموعة المنجذبة للماء على السطح فيقل بذلك تماس الدهون الهيدروفوبية مع الماء فلا تميل للتجمع مع بعضها بواسطة روابطها الهيدرفوبية ، فتبقى على شكل قطيرات صغيرة ، وهذا الشكل الذي تتخذه قطيرات الدهن محاطة بأملاح الصفراء يعطي زيادة هائلة في السطح المعرض للتماس مع الأنزيم.



Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

تكوين "المذيلات" بمساعدة أملاح الصفراء



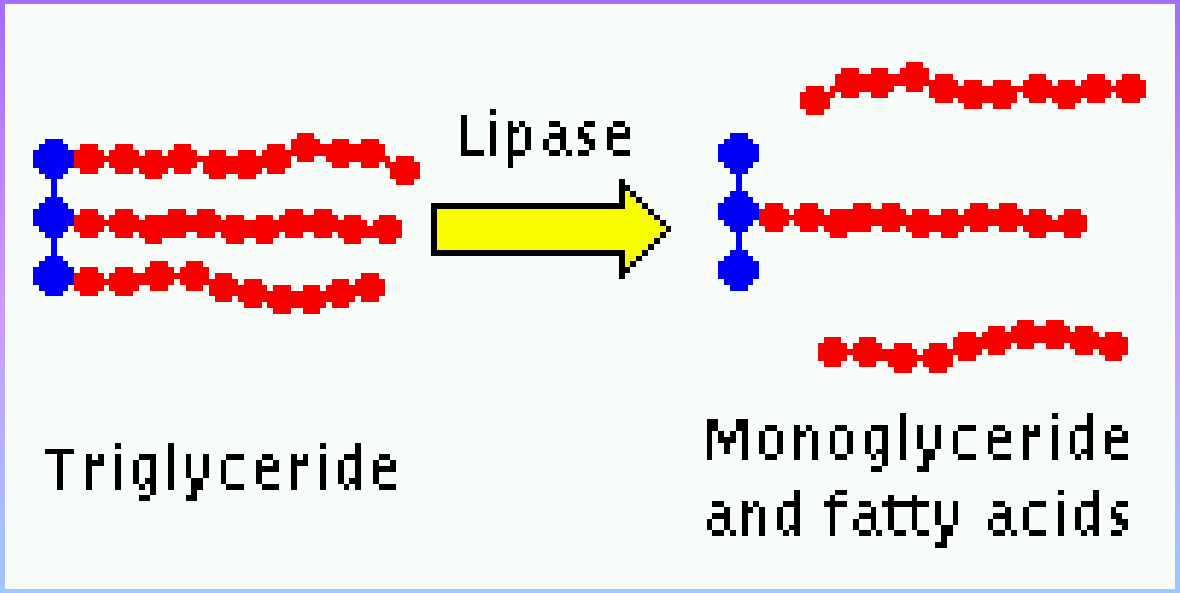
تكوين المذيلات يزيد من كمية الدهون التي يستطيع اللايبيز تكسيرها

دور البنكرياس في هضم الدهـــون

- تفرز **البنكرياس** أنزيم **اللايبيز** ، الأنزيم المختص بهضم (تكسير) الدهون، الذي يعمل على فك الارتباط الاستري بين الاحماض الدهنية و الجليسرول خاصة على الموقعين الأول والثالث، لذا يعتبر

2 – **أحادي أسيل الجليسرول** الناتج الرئيسي لعمل الأنزيم , الليبيز البنكرياسي.

تكسير ثلاثي الجيليسرايد بواسطة الليبيز البنكرياسي



هضم البروتينات

تكسير الأحماض الأمينية بالتأكسد

محتوى المحاضرة

- **متى يتم تكسير الأحماض الأمينية بالتأكســـد؟**
- **الناتج النهائي لعملية هضم البروتينات**
- **تكسير البروتينات**
- **تكسير الأحماض الأمينية**
- **عملية إزالة مجموعة الأمين للأحماض الأمينية بالأكسدة**
- **تكسير الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية**
- **علاقة تكسير الأحماض الأمينية بتركيز ال ATP في الخلايا الحية**

محتوى المحاضرة

- دخول الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية مسارات أيضية مختلفة
- مسار حامض الألفا – كيتوجلوتريت
- تكوين النواتج الإبرازية النيتروجينية
- تحول الأحماض الأمينية إلى دهون
- تحول الأحماض الأمينية إلى جلوكوز

هضم البروتينات

متى يتم تكسير الأحماض الأمينية بالتأكســـد؟

- تتأكسد الأحماض الأمينية لتكون مصدراً للطاقــة إذا :

1- أخذت بكميات كبيرة في الغذاء .

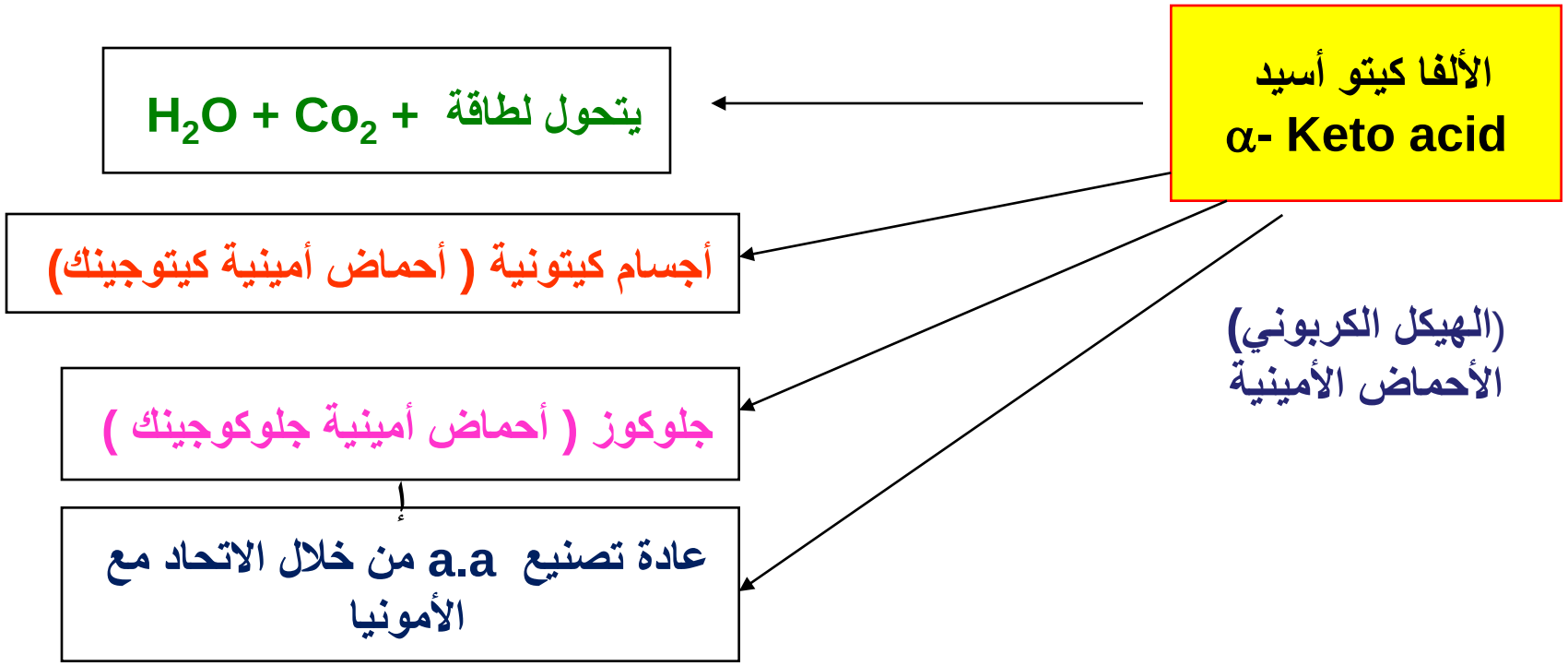
2- في حالة الامتناع عن الأكل .

3- في حالة الإصابة بمرض السكري .

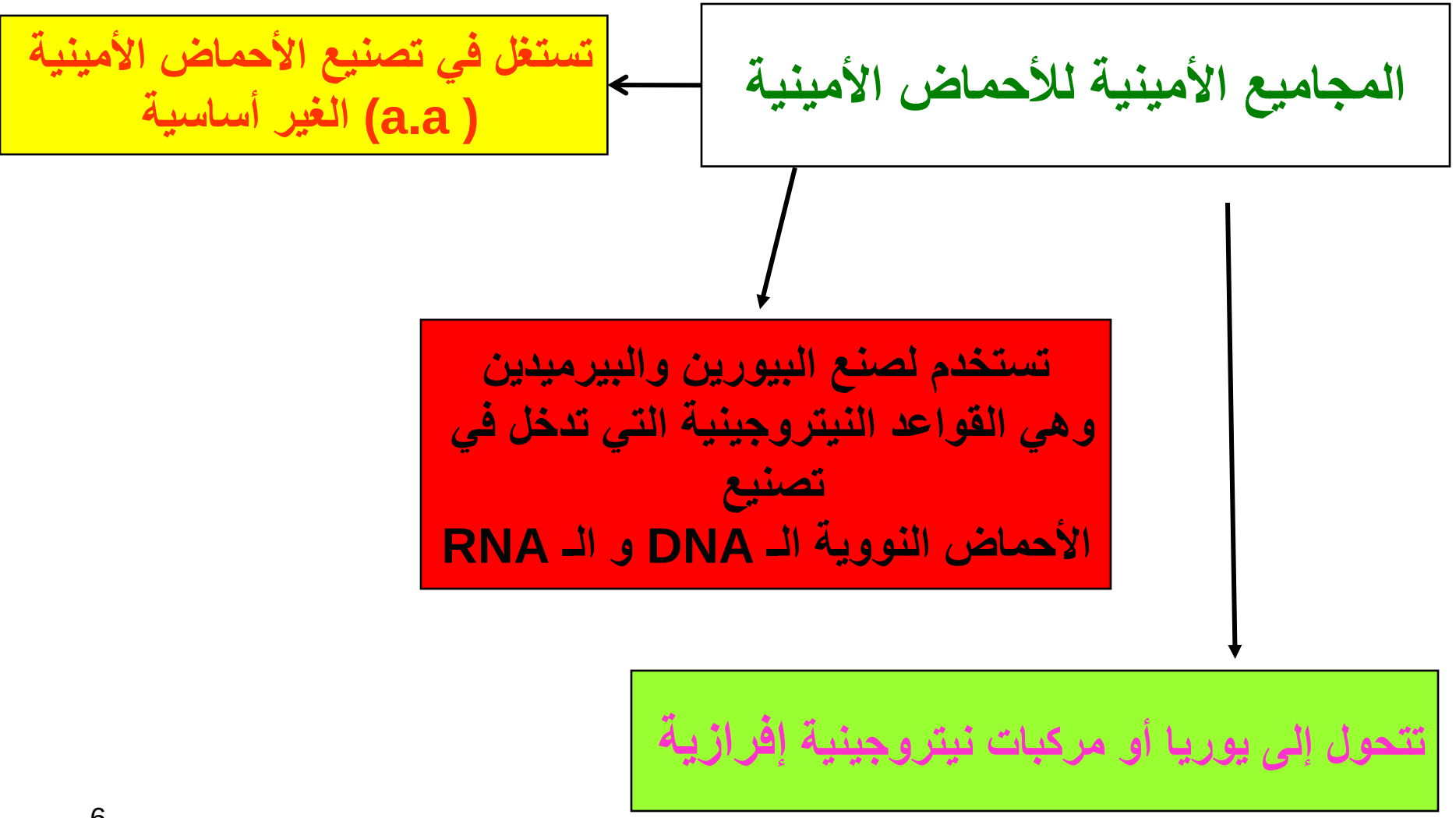
هضم البروتينات

- الناتج النهائي لعملية هضم البروتينات هو:

$$\alpha\text{- Amino Acid} \longrightarrow \alpha\text{- Keto acid} + NH_4^+$$



هضم البروتينات



تكسير البروتينات

- تنتقل المجموعات الأمينية من الأحماض الأمينية عن طريق تفاعلات انتقال المجاميع الأمينية Transamination Reactions
- الأنزيمات التي تحفز هذه التفاعلات هي ترانزأمينيزز Transaminases

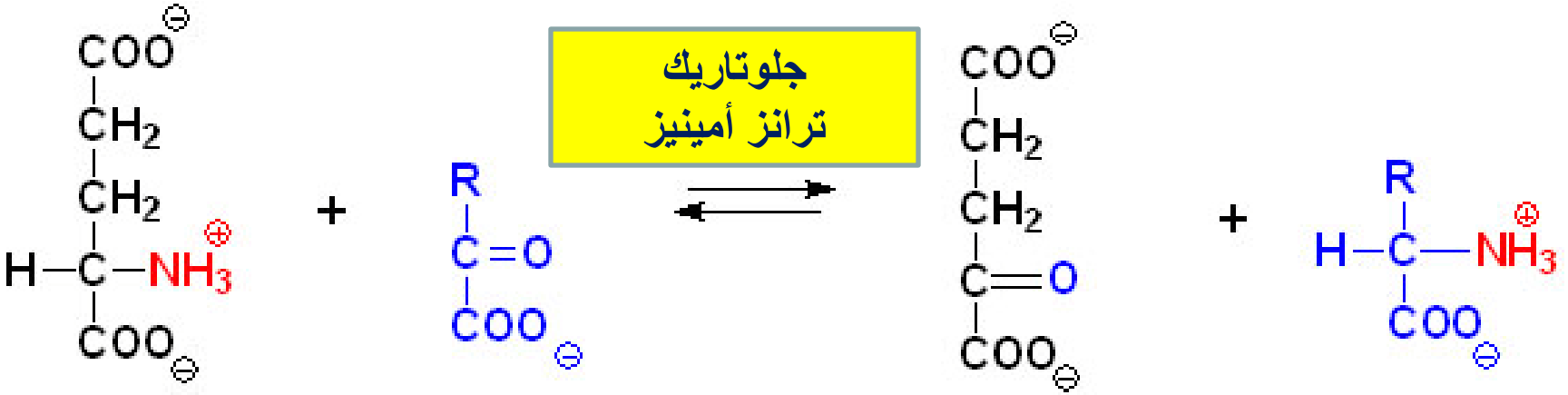
أو أمينو ترانزفيريزز Aminotransferases

- الحمض الكيتوني الرئيسي الذي يدخل في هذا النوع من التفاعلات هو حمض الألفاكيتوجلوتريك

- α- Ketoglutaric acid (α- KG)

تكسير الأحماض الأمينية

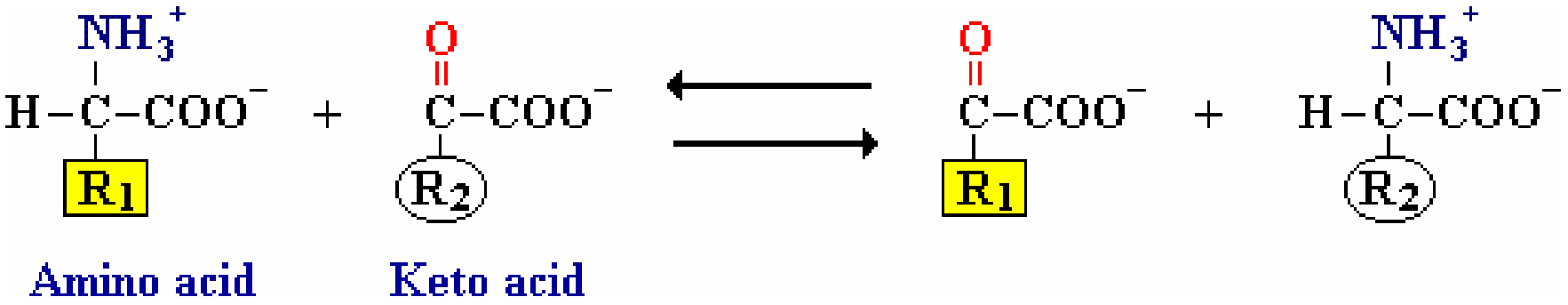
• في هذه التفاعلات تنتقل مجموعة الأمين ألفا من الحمض الأميني إلى الألفا-كيتوجلوتريك أسيد فيعطيني حامض الجلوتاميك ، والألفا حمض أميني ⟵ ألفا كيتوأسيد المقابل.



Glutamate α-Keto acid α-Ketoglutarate α-Amino acid

تكسير الأحماض الأمينية

- في هذه التفاعلات تنتقل مجموعة الأمين ألفا من الحمض الأميني إلى الألفا-كيتوجلوتريك أسيد فيعطيني حامض الجلوتاميك ، والألفا حمض أميني ⟵ ألفا كيتوأسيد المقابل



تكسير الأحماض الأمينية

- أنزيم **جلوتاميك ترانز أمينيز** هو خاص لتفاعل α-KG والجلوماتيك أسيد فقط ولا يحفز تفاعلات نقل مجموعات أمين أخرى أي لأحماض أمينية و أحماض كيتونية أخرى (أي هذا الأنزيم خاص لتحفيز التفاعل السابق فقط بمواده المتفاعلة و مواده الناتجة).
- في هذا التفاعل لم يتم التخلص من المجموعة الأمينية نهائياً ولكنها تنتقل من الأحماض الأمينية إلى جلوتاميك أسيد .

تكسير الأحماض الأمينية

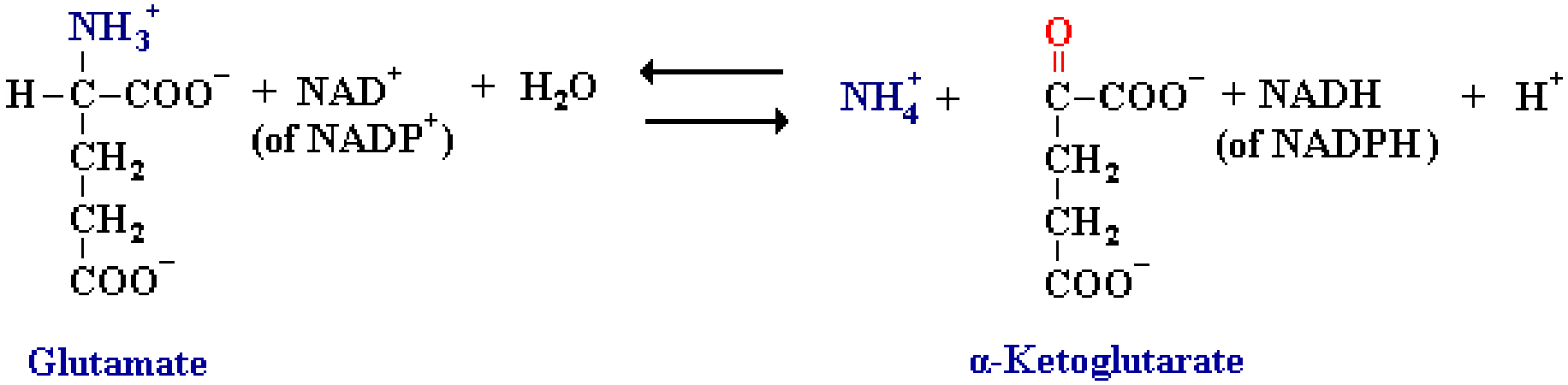
- **α -KG**: هو مستقبل المجاميع الأمينية من معظم الأحماض الأمينية (a.a) الأخرى. و **الجلوتاميت (Glu)** الناتج من تفاعلات نقل مجموعة الأمين ينتقل من السيتوسول إلى الميتوكوندريا ، وبواسطة أنزيم جلوتاميت ديهيدروجيز (Glu DH) يتحول Glu إلى α -KG وينتج من هذا التفاعل أيضاً **الأمونيا** . يسمى هذا التفاعل:

بإزالة الأمين بالأكسدة

$$Glu + NAD^+ + H_2O \rightleftarrows \alpha\text{-}KG + NH_3 + NADH + H^+$$

جلوتاميت ديهايدروجينيز

تكسير الأحماض الأمينية بالأكسدة



تكسير الأحماض الأمينية بالتأكسد

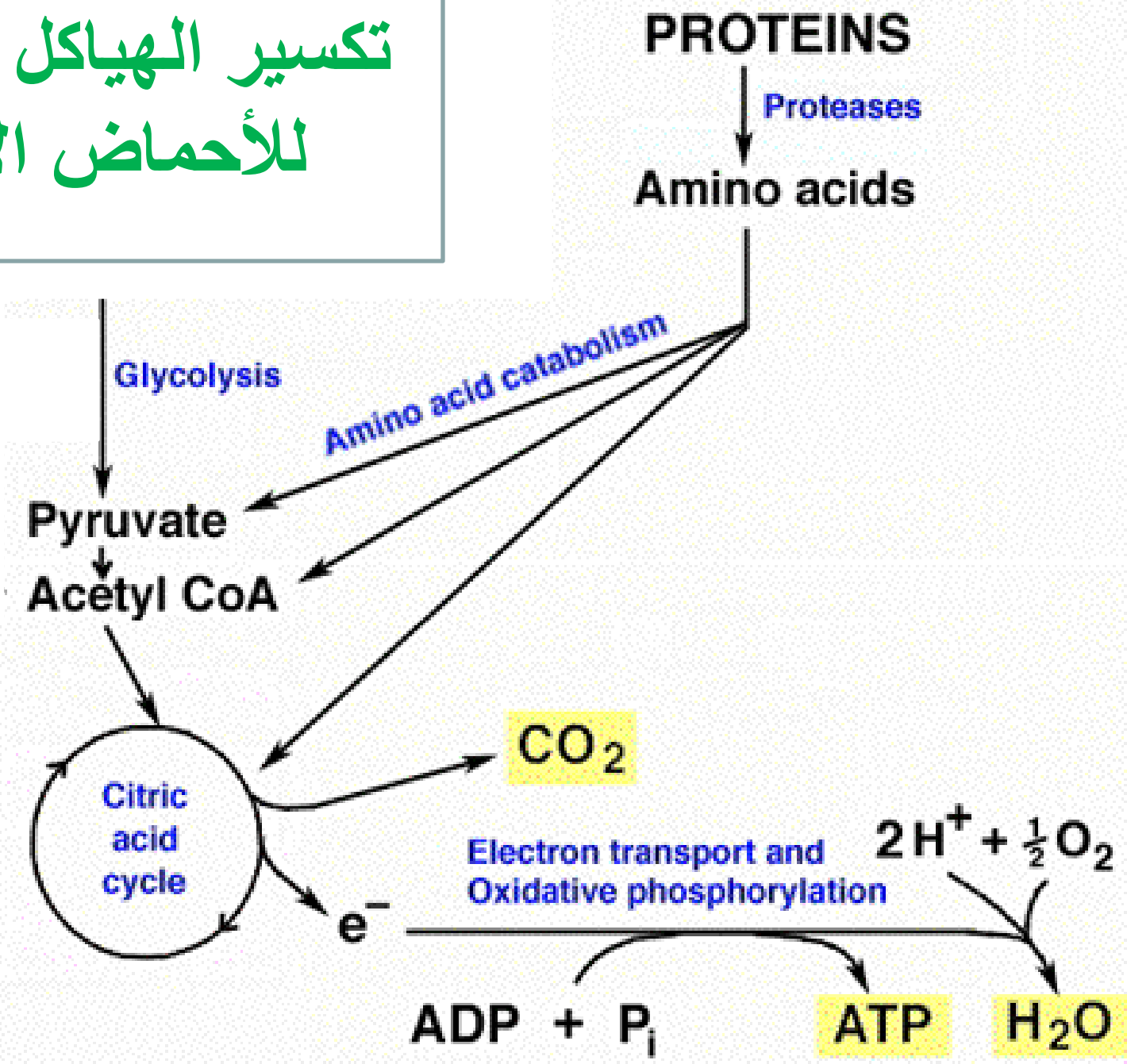
الحامض α - كيتو الناتج هو مساوٍ في عدد ذرات الكربون وترتيبها للحامض الأميني الأصلي ويختلف عنه في وجود مجموعة كيتون عوضاً عن مجموعة الأمين على ذرة الكربون الثانية (α) .

تكسير الأحماض الأمينية بالتأكسد

R_1- α - Amino acid + R_2- α-Ketoacid

R_2 - α - Amino acid + R_1- α-Ketoacid

تكسير الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية



G 567

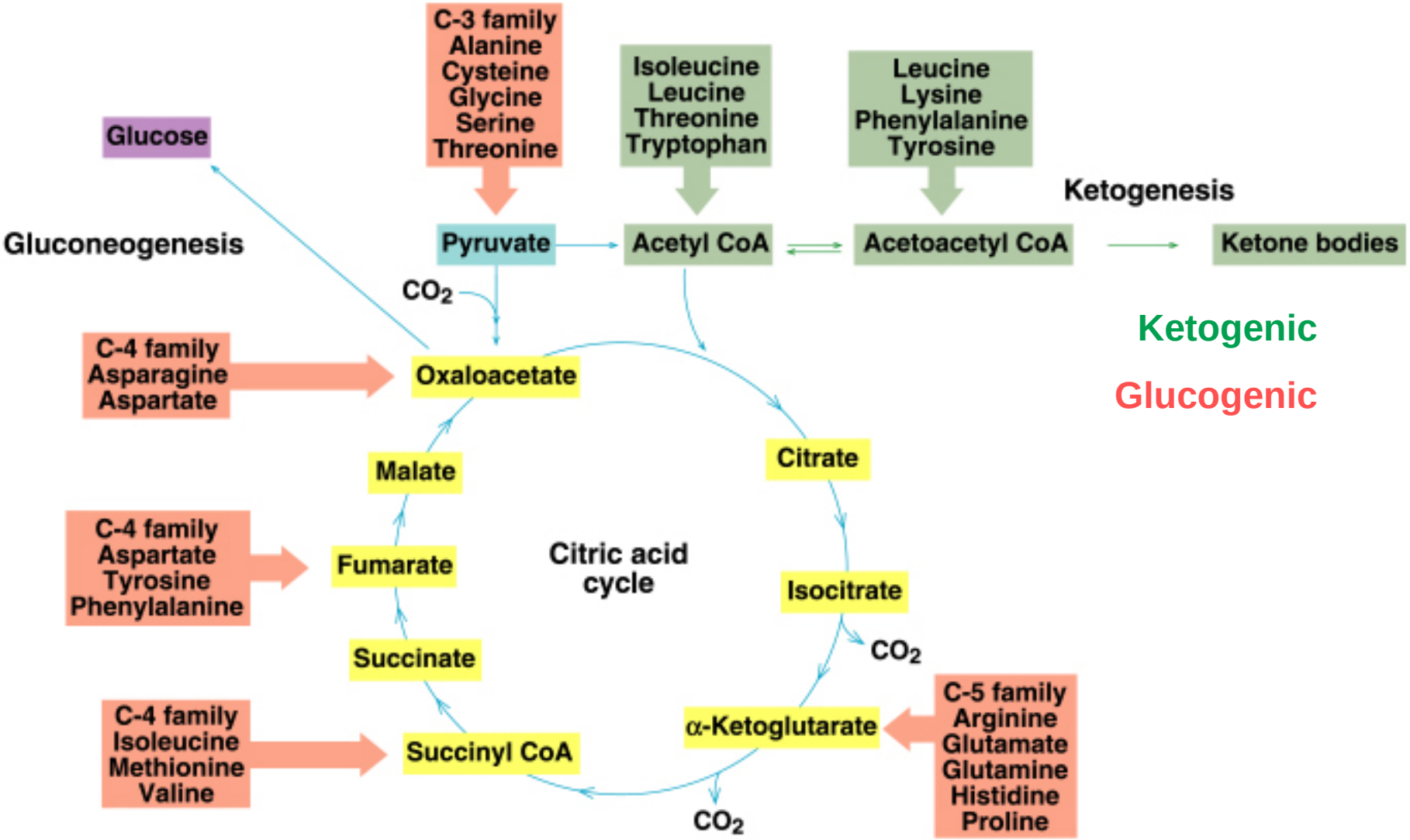
علاقة تكسير الأحماض الأمينية بتركيز الـ ATP في الخلايا الحية

- إذا كان [ATP] في الخلية عالٍ فإن **تحول جلوتاميت** إلى **حمض الألفا كيتوجلوتريك** (α - KG) يكون محدود أي يقل.

- إذا كان [ATP] قليل في الخلية فإن جلوتاميت يتحول إلى الأمونيا و α - KG (أكسدة جلوتاميت تنشط) .

* عملية إزالة الأمين بالأكسدة تحدث بصورة أساسية للجلوتاميك أسيد لإنه الناتج النهائي للعديد من تفاعلات نقل المجموعات الأمينية التي تحدث للأحماض الأمينية.

تكسير الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية و دخولها مسارات أيضية مختلفة



الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية

- الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية تدخل دورة حامض ثلاثي الكربوكسيل للأكسدة وإطلاق الطاقة .

تكسير الأحماض الأمينية

(1) تكوين النواتج الإبرازية النيتروجينية

- بعض الكائنات الحية عند هدم أحماضها الأمينية تقوم بالاحتفاظ بمجموعة الأمين واستخدامها في صنع أحماض أمينية أخرى .
- المتبقي من مجموعات الأمين يسمى يتحول إلى :

1- يوريا .

2- أمونيا .

3- حامض اليوريك .

و التي تسمى بالنواتج الإبرازية النيتروجينية

تكوين النواتج الإبرازية النيتروجينية

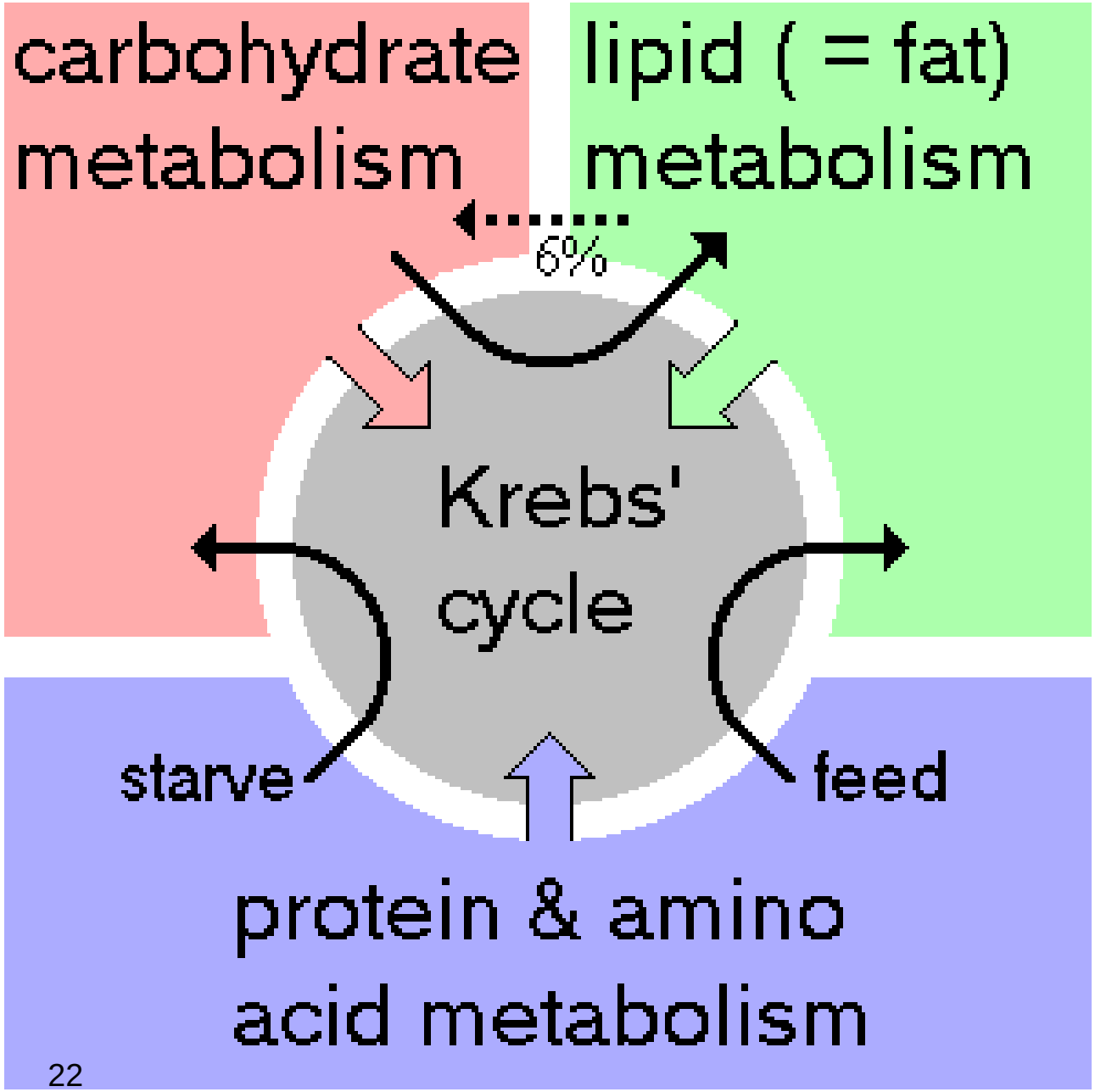
Glutamate + water + $NADP^+$

Ketoglutarate + NADPH + H^+ + Ammonia

يوريا

تحول الأحماض الأمينية إلى دهون

(2) إذا كان عندي كمية البروتينات المأخوذة من الغذاء كبيرة ، فإن الأحماض الأمينية سوف تتحول إلى البيروفيك أسيد و الأسيتيل CoA اللذان يدخلان في **تكوين الدهون** بواسطة عملية تصنيع الدهون .



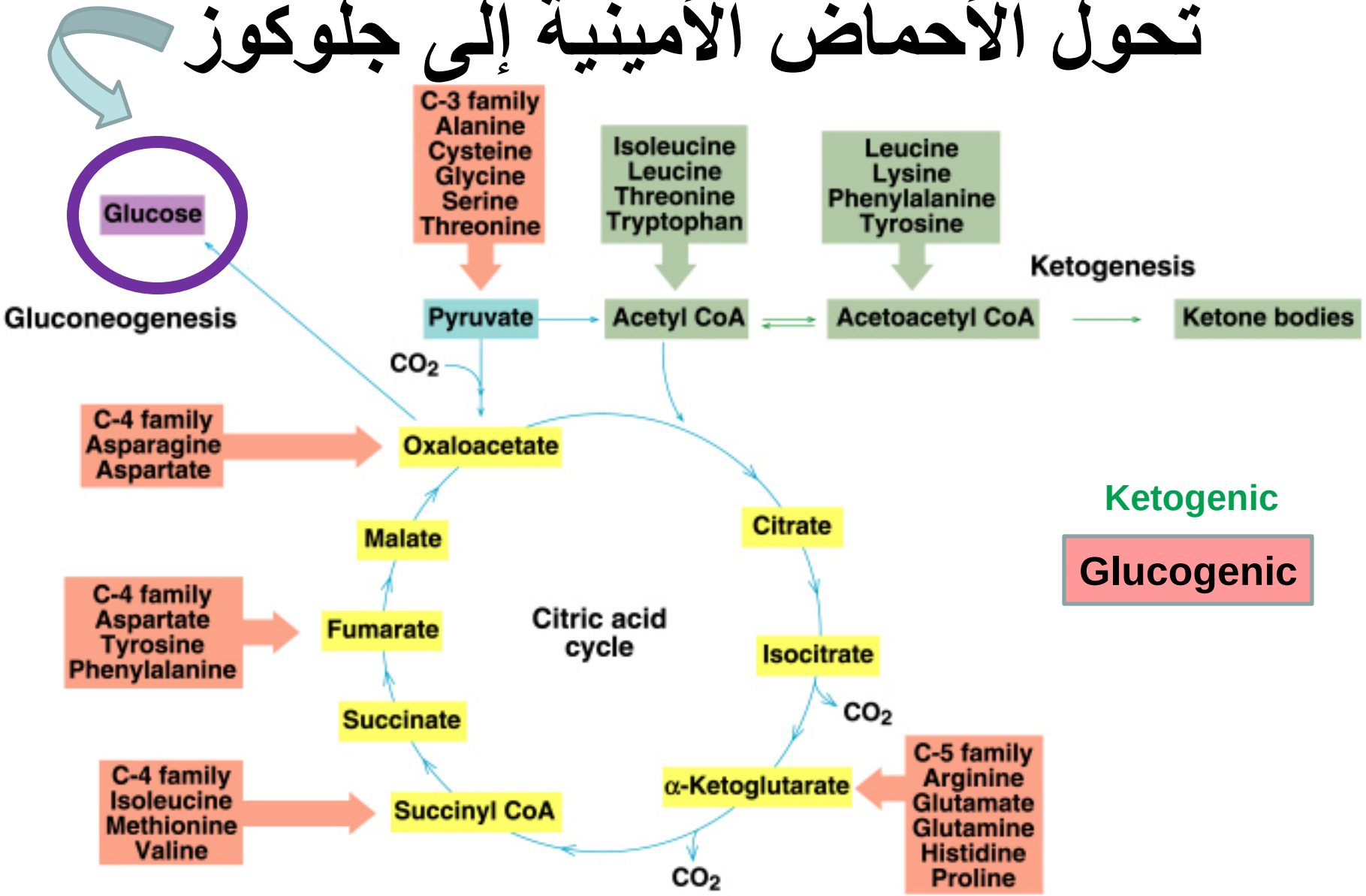
تحول الأحماض الأمينية إلى دهون

تحول الأحماض الأمينية إلى جلوكوز

3) إذا كانت كمية الكربوهيدرات المأخوذة من الغذاء قليلة أو كان الجلوكوز لا يدخل الخلايا ، كما في مرضى السكري ، فإن هذه الأحماض الأمينية المأخوذة من الغذاء بتراكيز عالية تتحول إلى بيروفيك أسيد و أوكسالوأسيتيك أسيد اللذان يتحولان إلى جلوكوز (glucose) و جلايكوجين، لذلك تسمى هذه الأحماض الأمينية

Glucogenic amino acids.

تحول الأحماض الأمينية إلى جلوكوز



المراجع:

1- **Chemistry and metabolism of carbohydrates, Prof. Dr. Ajit Pandya, 2017.**
2- **Drug metabolism prediction, 2014.**
3- **Chemistry of metabolism and energetics, N. B. Sharma, 2001.**
4- **Organic chemistry of secondary plant metabolism, T. A. geissman; D. H. G. Grout, 2010.**
5- **The chemistry and metabolism of 4-deoxypyridoxine, Stevene B. Kobrin, 2018.**