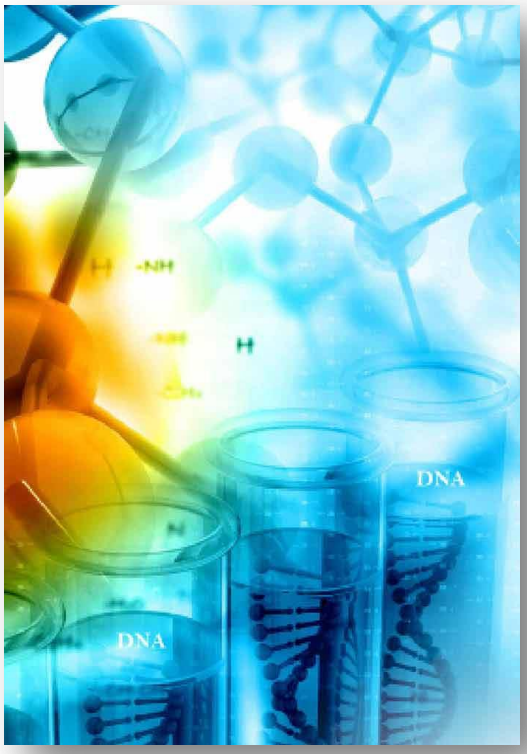
جامعة حماه – كلية الصيدلة

السنة الثانية

الفصل الثاني



الكيمياء الحيوية (1)

BIOCHEMISTRY (1)

المحاضرة الأولى

د. أسامة مخزوم

البروتينات و الببتيدات والأحماض الأمينية

تعريف البروتينات:

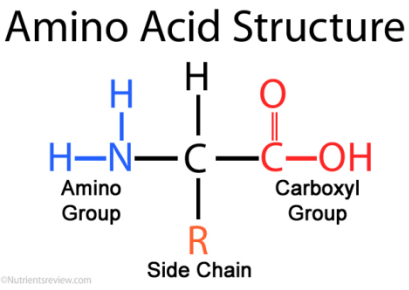
- هي مركبات هامة تنتج عن اجتماع الأحماض الأمينية واتصالها مع بعضها بوساطة رابطة ببتيدية.
- البروتينات هي نتاج عمل الدنا وهي التي تقوم بتنفيذ التعليمات الوراثية للقيام بالوظائف الحيوية.
- لمعرفة البروتينات علينا معرفة الأحماض الأمينية المكونة لها.

الاحماض الأمينية:

- البروتينات لغة مكونة من عشرين حرف و هذه الاحرف هي الأحماض الأمينية.
- مهما اختلفت البروتينات بالشكل و التركيب و الوظيفة تتكون من عدد محدود من الأحماض الأمينية، لكن أنواع البروتينات المتشكلة عنها كبير جداً إذ تشكل البروتينات المجموعة الأكثر تنوعاً بين المجموعات الأربع (دسم، سكريات، بروتينات، الأحماض النووية).
- هذه الأحماض الأمينية هي التي تكسب البروتين صفاته الخاصة به و النوعية جداً، و هذه الصفات هي التي تمكنه من القيام بالوظيفة المكلف بها في جسم الإنسان.

خواص الحمض الأميني:

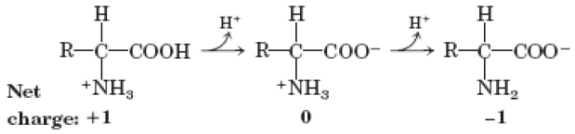
1) تركيب الحمض الأميني: $R\text{-}CH(NH_2)\text{-}COOH$



2) جميع الأحماض الأمينية تتميز بثلاث صفات رئيسية هامة وهي:
   1. جميعها تمتلك زمرة كربوكسيل متصلة بذرة الكربون في الموقع α
   2. جميعها تمتلك مجموعة أمين متصلة أيضاً بذرة الكربون في الموقع α
   3. جميعها تمتلك سلسلة جانبية (R) مرتبطة بذرة الكربون في الموقع α

3) الحموض الأمينية مركبات متذبذبة لها خواص حمضية وقلوية بفضل المجموعتين الكربوكسيلية والأمينية وذلك تبعا للوسط الذي توجد فيه، ففي الوسط الحمضي (يوجد شوارد **H** فائضة تعدل **COO^-**) فتكون مشحونة بشحنة إيجابية، وفي الوسط القاعدي تكون مشحونة بشحنة سلبية (يوجد شوارد **OH** فائضة تأخذ **H** من **$NH3^+$**).

4) تعرف نقطة التعادل الكهربائي **PI** بأنها قيمة الـ **PH** التي تكون شحنة الحمض الأميني تساوي الصفر، وعندها تترسب الحموض الأمينية.



شكل أيوني موجب في محيط حامضي | الشكل الأمفوتيري في محيط متعادل | شكل أيوني سالب في محيط قاعدي

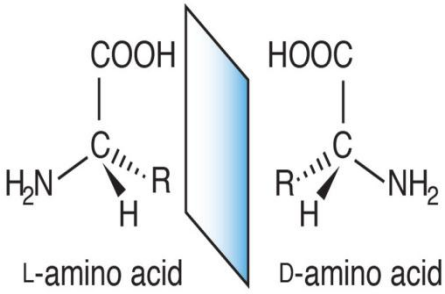
5) الحمض الأميني يأخذ صفاته من السلسلة الجانبية (**R**) و يأخذ الاسم أيضاً و البروتين كذلك يأخذ صفاته من الأحماض الأمينية المكونة له.

6) نرقم ذرات الكربون في الحمض الأميني حسب:

1. ذرة الكربون ألفا هي التي ترتبط بها الوظيفة الأمينية ألفا و الوظيفة الكربوكسيلية ألفا سويةً.
2. ذرة الكربون بيتا تلي ألفا و ذرة الكربون غاما تلي ذرة الكربون بيتا و هكذا حتى نهاية السلسلة R حيث أن ذرة الكربون ألفا مستقلة بينما الذرات التي تلي ألفا هي من ضمن السلسلة R.

7) الكربون ألفا قادر على تدوير الضوء لأنه غير متناظر (أربع روابط لذرات مختلفة).

يشترط ليكون الكربون ألفا فعال ضوئياً أن ترتبط به ذرات بأربع روابط مختلفة دون تشابه بأي منها.



8) تقسم الأحماض الامينية إلى قسمين (**L** و**D**):

- إذا كانت الزمرة الامينية على يمين الحمض كان من النمط **D**.
- إذا كانت الزمرة الأمينية على يسار الحمض كان من النمط **L**.

9) جميع البروتينات في كافة المخلوقات تبنى من الحمض الأميني من النوع (L) من الإنسان حتى الجراثيم.

10) لونها أبيض، عديمة الرائحة، عديمة الطعم، جيدة التبلور، لها درجات انصهار عالية، ذوابة في الماء أكثر من ذوبانها في المذيبات الاقل قطبية.

دراسة الأحماض الأمينية

- بداية يجب أن نعلم أنه لدينا حمض أميني واحد وهو الغليسين ليس من الشكل D و ليس من الشكل L لأن الرابطة التي تحمل R هي هيدروجين فأصبح لدينا رابطتين متماثلتين و بالتالي أصبح الكربون ألفا غير فعال ضوئياً وهو أصغر الحموض الأمينية.
- سنعتمد في دراسة الأحماض الأمينية على الجذر R لأنه يميز الأحماض الأمينية من الناحية الوظيفية و الوزن الجزيئي و صفات الحمض كاملة.

مثال: لدينا جذور R كارهة للماء، هذا يقودنا إلى أن الحمض الأميني كاره للماء (أليفاتي).

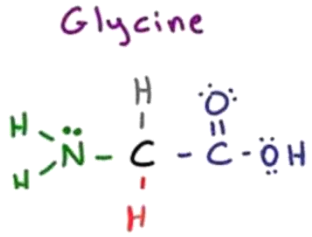
أليفاتي: أي مكون من هيدروجين وكربون فقط (CH, CH_2، CH_3)، أي لا توجد به زمرة قطبية (OH ,SH, COO).

الحموض الأمينية الخطية الكارهة للماء "عدا الغليسين"

- كل حمض أميني لا توجد به زمرة قطبية هو حمض كاره للماء.
- الغليسين – الألانين – الفالين- اللوسين – الإيزولوسين.

الحمض الأول: الغليسين

- كما ذكرنا هو أبسط و أصغر الأحماض الأمينية حيث الجذر R هو ذرة هيدروجين R=H.
- تركيبه الكيميائي:



- صفاته:
  - ✓ مذبذب لذلك نستطيع تصنيف الغليسين ضمن الحموض الأمينية المحبة للماء لأن ذرة الهيدروجين الممثلة للجذر R لن تؤثر على انحلال الحمض الأميني في الماء و هو بنفس الوقت لا يحوي عل ذرات نكليوفيلية أي يمكن عده كاره للماء.
  - ✓ هو حمض أميني غير فعال ضوئياً.
  - ✓ يشكل أكبر كمية وزناً من بروتين الكولاجين.

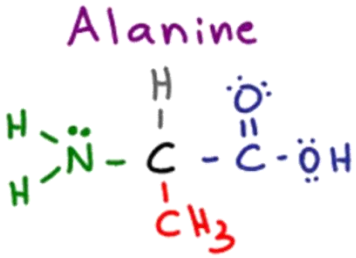
ملاحظة هامة

يعد الغليسين حمض أميني هام جداً لأنه يشكل 33% من الأحماض الأمينية الداخلة بتركيب الكولاجين و هذه النسبة تفرض على الكولاجين البنية الثلاثية (نظام الثلاثيات) أي يُقسم الكولاجين لثلاثيات و كل ثلاثية تحوي على غليسين.

غليسين x_1 x_2 غليسين x_1 x_2

الحمض الثاني: الآلانين

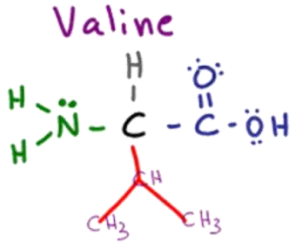
- الجذر R هو ميتيل CH_3:
- تركيبه الكيميائي:



- صفاته:
  - ✓ الآلانين هو أبو الأحماض الأمينية حيث تُشتق كاملة من الآلانين ما عدا الغليسين.
  - ✓ يوجد منه النوع L و يوجد منه النوع D و بالتالي هو فعال ضوئياً (ذرة الكربون ألفا فعالة ضوئياً).
  - ✓ هو أول حمض أميني كاره للماء حقاً و يزداد الكره للماء (عدم القطبية) بازدياد طول السلسة الجانبية R.

الحمض الثالث: الفالين

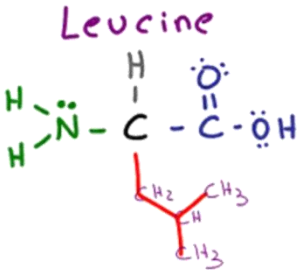
- يشتق الحمض الأميني الفالين من الآلانين و ذلك بحذف ذرتي هيدروجين من الجذر R و وضع زمرتي ميتيل بدلاً منهما.
- تركيبه الكيميائي:



- صفاته:
  - ✓ الفالين أكثر كرها للماء من الآلانين و ذلك لأن السلسة الجانبية للفالين أطول من السلسة الجانبية للآلانين.

الحمض الرابع: اللوسين

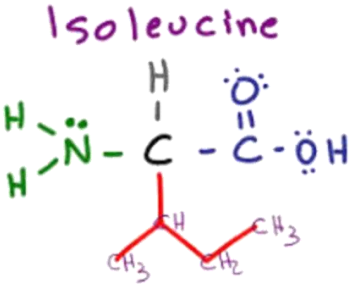
- هو فالين بإضافة CH_2 للكربون ألفا.
- تركيبه الكيميائي:



- صفاته:
  - ✓ أكثر كرهاً للماء من الفالين و من الآلانين لأن سلسلته الجانبية أطول.

الحمض الخامس: الإيزولوسين

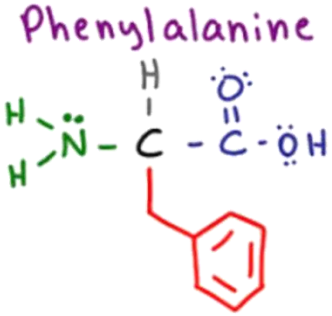
- هو لوسين و لكن باختلاف الترتيب الفراغي فقط (ترتيب السلسلة الجانبية R).
- هنا أصبحت ذرة الكربون بيتا عليها تفرعين.
- التركيب الكيميائي:
  - ✓ نأخذ CH_3 و نضعها على ذرة الكربون بيتا.



الحموض الأمينية الحلقية الكارهة للماء "عدا تيروزين"

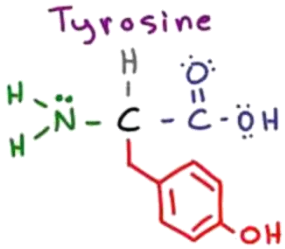
الحمض السادس: الفينيل آلانين

- هو عبارة عن آلانين + حلقة سداسية (حلقة البنزن) و حتى نضع هذه الحلقة نطرد ذرة الهيدروجين من جذر الميثيل.
- التركيب الكيميائي:
  - ✓ كي لا ننسى حلقة البنزن أضفنا اسم الفينيل إلى الحمض.



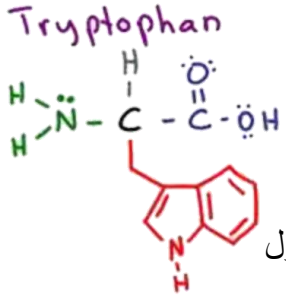
- صفاته:
  - ✓ يُشتق الفينيل آلانين من الآلانين.
  - ✓ هو حمض شديد الكره للماء بسبب وجود الحلقة السداسية البنزنية ولا تحوي أي ذرة قطبية (نكليوفيلية).

الحمض السابع: التيروزين



- يشبه الفينيل آلانين مع وضع (OH) على الكربون 4 من الحلقة الكربونية.
- التركيب الكيميائي:
- صفاته:
  - ✓ **حمض أميني قطبي** حيث يحتوي وظيفة هيدروكسيلية (OH).
  - ✓ يتحول التيروزين إلى تيروزين مفسفر داخل البروتينات فيمنحها التنظيم والتفعيل.
  - ✓ له أهمية كبيرة جداً حيث يتم اصطناع هرمون الدرق منه و هي T_3، T_4 بإضافة إما 3 ذرات أو أربع ذرات من اليود و التي لها أهمية في تنظيم و تنسيق وظائف مهمة جداً مثل: الحرارة، الاستقلاب، الطاقة.
  - ✓ أيضا تشتق النواقل العصبية الكاتيكولامينات بدءاً منه.

الحمض الثامن: التربتوفان

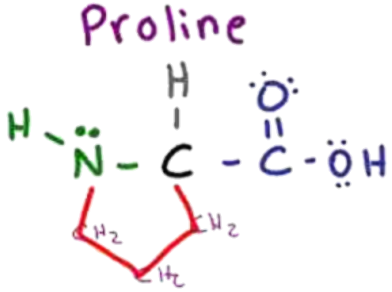


- هو أكبر الحموض على الإطلاق.
- مؤلف من حلقتين مدمجتين تسميان حلقة الإندول و يصنف مع الزمر الكارهة للماء على الرغم من وجود الآزوت لكن الآزوت فيه معمى عليه.
- يتميز هذا الحمض برائحته الكريهة الخاصة ببراز الإنسان.
- عندما يصل هذا الحمض إلى الأمعاء تعمل عليه الجراثيم فتشكل حلقات تسمى الساكتول وبالتالي يعطي الرائحة الكريهة (رائحة البراز).
- مادة أولية لاصطناع فيتامين النياسين "B3" و الناقل العصبي السيروتونين.

✓ نقطة هامة:	تمتص الحموض الأمينية الحلقية (التربتوفان- التيروزين- الفينيل آلانين) الأشعة فوق البنفسجية عند طول موجة بين 260-280 نم. التربتوفان أكثرها امتصاصاً لاحتوائه على حلقة الإندول وإن أعلى امتصاص عند طول موجة 280 نم والذي يعزى له معظم امتصاص البروتين، يليه التيروزين أعلى امتصاص عند طول موجة 274 نم، يليه الفينيل آلانين أعلى امتصاص عند طول موجة 256 نم. إذن نقيس امتصاص البروتين للأشعة فوق البنفسجية عادة عند طول موجة 280 نم.

الحمض التاسع: البرولين (إمينوأسيد)

- التركيب الكيميائي:



- ✓ تم اتصال الآزوت ألفا مع الحلقة الخماسية و بالتالي بالجذر R.
- ✓ إن الحلقة الخماسية في البرولين غير متجانسة بسبب دخول الآزوت في تركيبها.

- أهمية البرولين:

- ✓ هذا الحمض الأميني له وظيفة مميزة لأنه لم يعد لدينا NH_2 حيث أننا حذفنا ذرة الهيدروجين لنربط بين الآزوت ألفا و الجذر R.

- صفاته:

- ✓ الحلزون ألفا هو البنية الثانوية للبروتين و تشترط عندما تتشكل أن يشارك كل حمض أميني برابطة ببتيدية و رابطة هيدروجينية، لكن البرولين لا يستطيع تشكيل رابطة هيدروجينية لذلك فُرض عليه أن يكون في بداية أو نهاية السلسلة في البنية الثانوية.
- ✓ البرولين له أهمية كبيرة جداً في تشكيل بروتين الكولاجين حيث يدخل في تركيبه.

- تكمن أهمية الكولاجين من خلال:

- ✓ تحوُّل البرولين لهيدروكسي البرولين هو شرط من شروط نضج الكولاجين و هذه العملية ضرورية لتشكل كولاجين سليم و تحتاج لفيتامين C.
- ✓ الكولاجين يشكل البنية الدعامية للجسم.

الكولاجين المريض

إذا لم تتم إضافة الهيدروكسيل للبروتين داخل الكولاجين الناضج يتشكل لدين
لأهميته الكبيرة في الجسم تكون الأمراض الناتجة عن الكولاجين المريض كثيرة مثل:

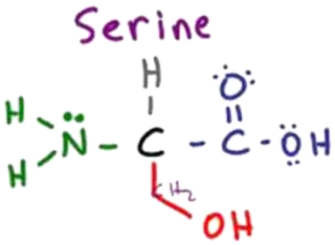
1. في اللثة عندما يكون الكولاجين مريض و ضعيف تكون الأنسجة الداعمة ضعيفة و الأوعية في اللثة تكون هشة و هذا ما ينتج عن نقص فيتامين C المسؤول عن تحول البرولين لهيدروكسي برولين فينتج لدينا مرض نزف اللثة (الإسقربوط) وينتج لدينا خلخلة بالأسنان نتيجة ضعف الأنسجة الداعمة.
2. ضعف الكولاجين يؤدي لضعف عام في الجسم.

✓ نقطة هامة:	لا نعتبر هيدروكسي برولين حمضاً أمينياً لأنه تحوَّر عن البرولين بإضافة OH للبرولين داخل بروتين الكولاجين. إضافة الـ OH للبرولين لتشكيل هيدروكسي البرولين تكون إضافة على الكربون الثالث لحلقة البرولين. هيدروكسي البرولين كما البرولين لا يستطيع تشكيل روابط هيدروجينية، و لا يستطيع تكوين الحلزون ألفا.

الأحماض الأمينية غير المشحونة القطبية "عدا ميثيونين"

الحمض العاشر: السيرين

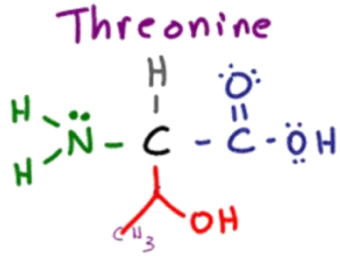
- هو آلانين منزوع ذرة الهيدروجين من الجذر R ونضيف OH.
- التركيب الكيميائي:



- صفاته:
  - ✓ هو حمض أميني قطبي.
  - ✓ يحوي وظيفة هيدروكسيلية (OH) و هو كحولي (غول أولي)، الكحول الأولي يمنح السيرين الفاعلية الكيميائية و هي فاعلية مميزة للسيرين.
  - ✓ يتحول السيرين إلى سيرين مفسفر داخل البروتينات فيمنحها التنظيم والتفعيل.

الحمض الحادي عشر: الثريونين

- هو مثل السيرين لكن بإضافة CH_3.
- التركيب الكيميائي:

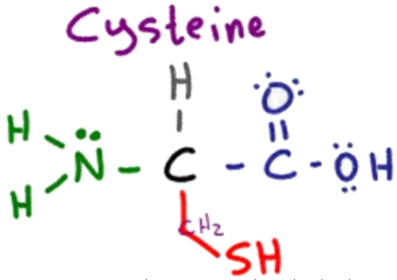


- صفاته:
  - ✓ قطبي لكن في الثريونين حُصِرت زمرة الهيدروكسيل و لم تعد طرفية و بالتالي بطلت الفعالية الكيميائية.
  - ✓ يتشابه الثرونين مع السيرين بأنهما: قطبيان، كحوليان، يدخلان في بناء البروتينات لكن السيرين فعال كيميائياً أما الثريونين غير فعال كيميائياً.

الحمض الثاني عشر: السيستئين

- **يشتق من الألانين** بحذف هدروجين وإضافة زمرة السلفهدريل SH **أو عبارة عن سيرين** مع استبدال الـ (OH) بـ (SH).

- حمض أميني كبريتي و زمرة السلفهدريل فعالة و بالتالي هذا الحمض يملك فعالية كيميائية مثل السيرين.
- التركيب الكيميائي:

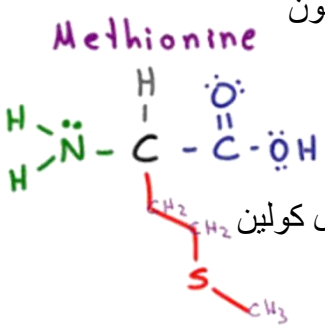


- صفاته:
  - ✓ حمض أميني قطبي فعال كيميائياً.
  - ✓ يحوي زمرة السلفهدريل.
  - ✓ عند احتواء السلسلة الببتيدية على أكثر من حمض أميني سيستئين إذا التفت السلسلة الببتيدية على نفسها و أصبح السيستئين مقابل سيستئين آخر تتأكسد و يتحرر الهيدروجين و يتشكل جسر كبريتي بين الحمض و يتشكل ليدينا السيستين.

السيستين (الجسر الكبريتي): هو عبارة عن ثنائي سيستئين و هو ليس حمض أميني لأنه لا يتشكل إلا داخل البروتين مثلما الهيدروكسي برولين.
أهميته: ليس فعال كيميائياً و لكن له أهمية كبيرة إذا التفت السلسلة الببتيدية على بعضها و تكوِّن السيستين و تكوِّن الجسور الكبريتية بروابط قوية جداً و بالتالي ستكون عبارة عن قفل يثبت البنية الفراغية للبروتين.

الحمض الثالث عشر: الميثيونين

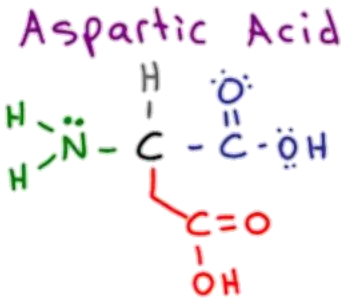
- حمض أميني كبريتي خامل جداً **غير قطبي** لأن زمرة الكبريت محاطة بذرتي كربون وهو أكثر حمض أميني خامل ولشدة خموله تصنع كافة البروتينات ببداية ببتيدية أمينية و هي الميثيونين.
- التركيب الكيميائي:
- يساهم في إعطاء زمرة الميتيل في تفاعلات المتيلة كما يساهم في اصطناع الأستيل كولين



الحموض الأمينية الحامضية القطبية

الحمض الرابع عشر: حمض الأسبارتيك

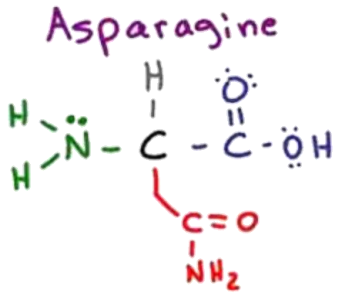
- آلانين منزوع ذرة الهيدروجين من الجذر R و نضع مكانها COOH.
- الصيغة الكيميائية:



- صفاته:
  - ✓ حمض أميني قطبي و حامضي و مشحون سلباً، يعطي صفة قطبية شديدة للسلسلة الببتيدية.
  - ✓ الكربوكسيل موجود على الكربون بيتا.

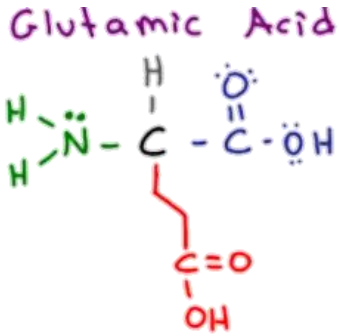
- ✓ في جسم الإنسان تبقى شحنة الأسبارتيك سالبة لأن الـ PH في جسم الإنسان دائما أكثر من 7.
- ✓ الكربوكسيل فعال هنا لأنه طرفي.
- ✓ عند تفاعل حمض الأسبارتيك مع النشادر (رابطة أميدية) يعطي حمض الأسبارجين.

الحمض الخامس عشر: الأسبارجين



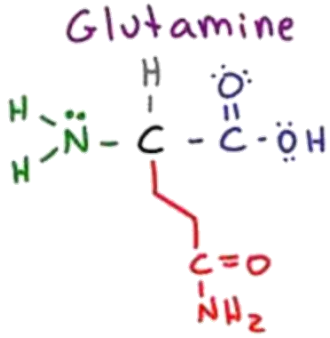
- ➢ حمض الأسبارتيك + نشادر
- ➢ الصيغة الكيميائية:
- ➢ صفاته:
  - ✓ حمض أميني قطبي غير مشحون.
  - ✓ الكربوكسيل موجود على الكربون بيتا.

الحمض السادس عشر: الغلوتاميك



- ➢ حمض الأسبارتيك +CH2.
- ➢ الصيغة الكيميائية:
- ➢ صفاته:
  - ✓ يوجد الكربوكسيل في الغلوتاميك على الكربون غاما.
  - ✓ حمض الغلوتاميك نشيط جداً، أكثر نشاطاً من الأسبارتيك، ويساهم في تفاعلات نزع الأمين.
  - ✓ قطبي ومشحون.
  - ✓ عند تفاعله مع النشادر ((نتيجة النشاط الكبير)) يتشكل لدينا حمض الغلوتامين.

الحمض السابع عشر: الغلوتامين

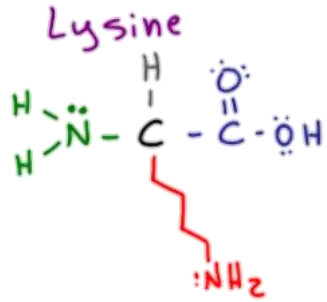


- ➢ حمض الغلوتامين + نشادر.
- ➢ الصيغة الكيميائية:
- ➢ صفاته:
  - ✓ غير مشحون لكنه قطبي محب للماء.
  - ✓ الكربوكسيل موجود على الكربون غاما.

الحموض الأمينية القاعدية القطبية

الحمض الثامن عشر: الليسين (اللايزين)

➢ الصيغة الكيميائية:



➢ صفاته:

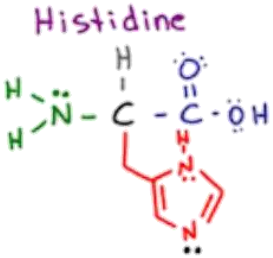
✓ حمض أميني يحمل شحنة موجبة.

✓ في البروتين يتقابل حمض الغلوتاميك مع الليسين و يتشكل بينهما جذر كهربائي ساكن و هذا ما يثبت البروتين.

الحمض التاسع عشر: الهيستيدين

➢ يملك حلقة خماسية نسميها (الإميت آزوت) تحوي ذرتي آزوت، هذه الحلقة تكون موجبة إذا كان ال **PH** أقل من 7.

➢ الصيغة الكيميائية:



➢ صفاته:

تعتمد شحنته على بيئة البروتين.

✓ **PH=7** الهيستيدين غير مشحون.

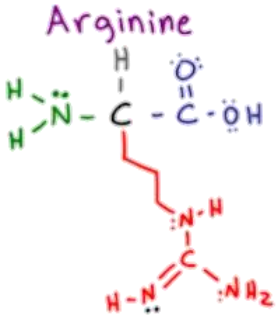
✓ **PH<7** الهيستيدين يحمل شحنة موجبة (قاعدي).

✓ يساهم في اصطناع الهستامين.

الحمض العشرين: الأرجينين

➢ حمض أميني قاعدي يحمل شحنة موجبة في **PH=7** يحمل زمرة نسميها غوانيدو.

➢ الصيغة الكيميائية:



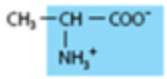
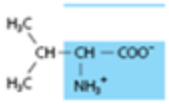
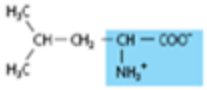
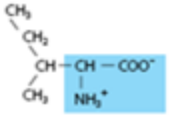
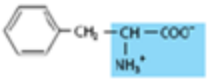
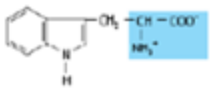
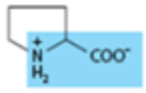
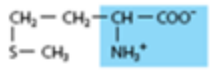
➢ صفاته:

✓ مهم جداً لأنه عضو في حلقة اصطناع البولة من النشادر وهي المادة السامة بالجسم التي يتخلص منها على هيئة بولة.

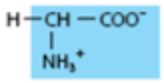
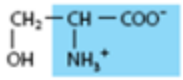
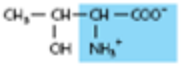
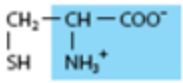
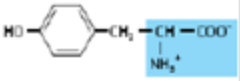
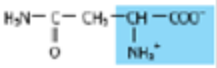
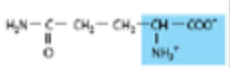
✓ الأرجنين يساهم في تحويل النشادر إلى بولة أي من مادة سامة إلى مادة غير سامة.

✓ يحوي 4 آزوت.

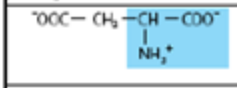
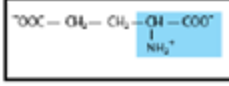
الحموض الأمينية غير القطبية

الحامض الأميني	الرمز بثلاثة أحرف	التركيب الكيميائي
ألانين Alanine	Ala	
فالين Valine	Val	
ليوسين Leucine	Leu	
أيسوليوسين Isoleucine	Ile	
فينايل ألانين Phenylalanine	Phe	
تربتوفان Tryptophan	Trp	
برولين Proline	Pro	
مثيونين Methionine	Met	

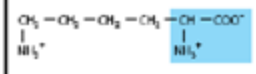
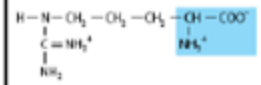
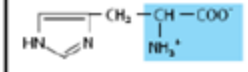
Hydrophilic قطبية غير مشحونة محبة للماء.

الحامض الأميني	الرمز بثلاث أحرف	التركيب الكيميائي
كلايسين Glycine	Gly	
سيرين Serine	Ser	
ثريونين Threonine	Thr	
سستين Cysteine	Cys	
تايروسين Tyrosine	Tyr	
أسباراجين Asparagine	Asn	
كلوتامين Glutamine	Gln	

السالبة الشحنة او تسمى بالحامضية Acidic

الحامض الأميني	الرمز بثلاثة أحرف	التركيب الكيميائي
حامض الأسبارتيك Aspartic acid	Asp	
حامض الكلوتاميك Glutamic acid	Glu	

الموجبة الشحنة او تسمى بالقاعدية Basic

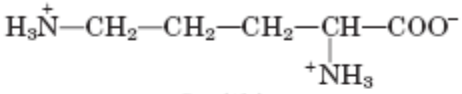
الحامض الأميني	الرمز بثلاثة أحرف	التركيب الكيميائي
لايسين Lysine	Lys	
أرجنين Arginine	Arg	
هستيدين Histidine	His	

حموض أمينية غير بروتينية

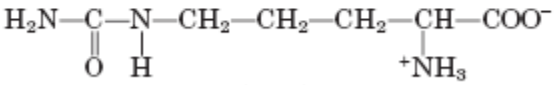
لا تدخل بتركيب البروتينات وإنما تلعب هذه الحموض الأمينة عدة أدوار مهمة في الجسم، وبعضها تكون فيه زمرة الأمين والكربوكسيل غير مرتبطتين بنفس ذرة الكربون ألفا.

بيتا ألانين: $H_3N\text{-}CH_2\text{-}CH_2\text{-}COOH$ يدخل في تركيب بانتونيك أسيد ومرافق الإنزيم A (Coenzyme A).

الأورنيتين (2N) و السيترولين (3N): وسائط مهمة تتكون أثناء حلقة تشكل اليوريا.

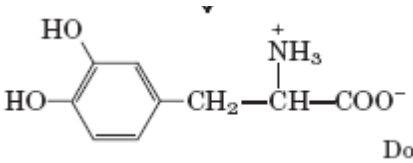


Ornithine



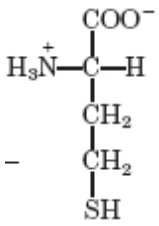
Citrulline

ثنائي هدروكسي فينيل ألانين Dihydroxy phenylalanine (Dopa)**:** يشكل مرحلة وسيطية في مسار اصطناع هرمونات الكاتيكول أمين (الأدرينالين والنورأدرينالين والدوبامين) بدءاً من التيروزين.



Dopa

هوموسيستئين Homocystein**:** مركب وسيطي يتكون أثناء تفاعلات بعض الحموض الأمينية، وزيادته متهمة بزيادة خطورة الإصابة بالأمراض القلبية الوعائية (تزيد بذرة كربون على السيستئين).



الحموض الأمينية الأساسية وغير الأساسية

تقسم الحموض الأمينية بناءً على قدرة الجسم على اصطناع هيكلها الكربوني إلى:

1- احماض أمينية أساسية **Essential amino acids**

(ليس للجسم المقدرة على تكوينها أي يجب تجهيزها عن طريق الغذاء).

2- أحماض أمينية غير أساسية **Nonessential amino cids**

(للجسم المقدرة على تكوينها).

3- أحماض أمينية شبه أساسية **Semiessential amino acids**

(للجسم المقدرة على تكوينها عند توفر الأحماض الأمينية المقابلة لها).

تقسيم الأحماض الأمينية حسب ضرورتها للإنسان.

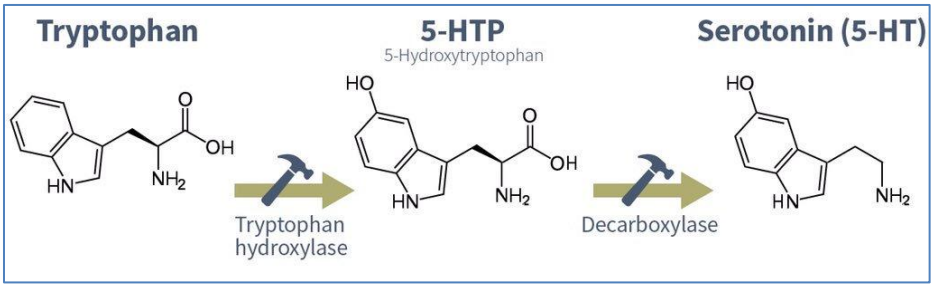
الأحماض الأمينية الأساسية	احماض أمينية شبه أساسية	الأحماض الأمينية غير الأساسية
فالين	أرجنين	كلايسين
ليوسين	هستيدين	ألانين
ايزوليوسين	سستين**	حامض الأسبارتيك
فينايل ألانين	تايروسين**	أسبارجين
تربتوفان		حامض الكلوتاميك
لايسين		كلوتامين
ميثيونين		سيرين
ثيريونين		برولين

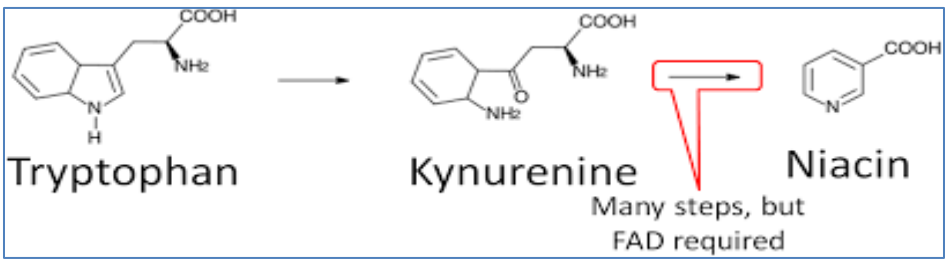
**السستين والتايروسين شبه أساسية لأنها تقلل متطلبات فينايل ألانين والميثيونين فهي لا تكون أساسية في الغذاء بوجود كمية كافية من الفينايل ألانين والميثيونين.

وظائف الحموض الأمينة

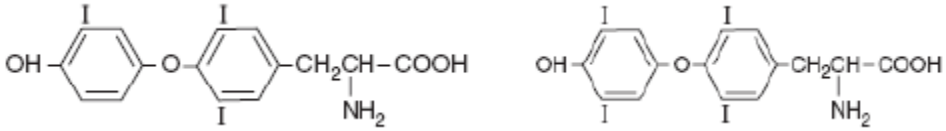
تلعب الحموض الأمينية عدة أدوار غير دورها في تركيب البروتينات:

- **الميتيونين** عنصر مهم لتأمين زمرة الميتيل "**متيلة** Methylation"، كما أنه يدخل في تركيب الكولين والتي تعطي فيما بعد الناقل العصبي المهم **أستيل كولين** (له تأثيرات على العضلات والقلب والضغط والقصبات والمثانة والعضلات الملساء).
- **التربتوفان** مادة أولية لفيتامين **النياسين** b3 (يدخل بتركيب NAD) بالإضافة **للسيروتونين** والذي هو ناقل عصبي هام في الجسم (له تأثيرات متعددة على الإقياء والاكتئاب وفي الشقيقة وغيرها).

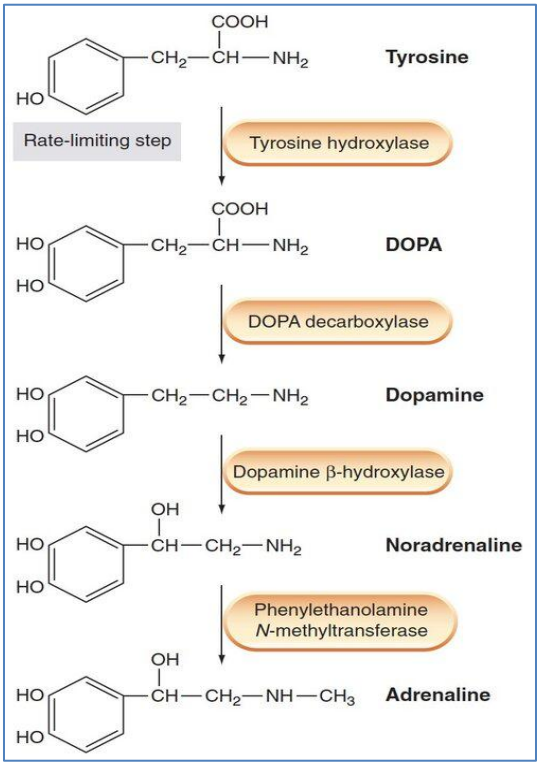
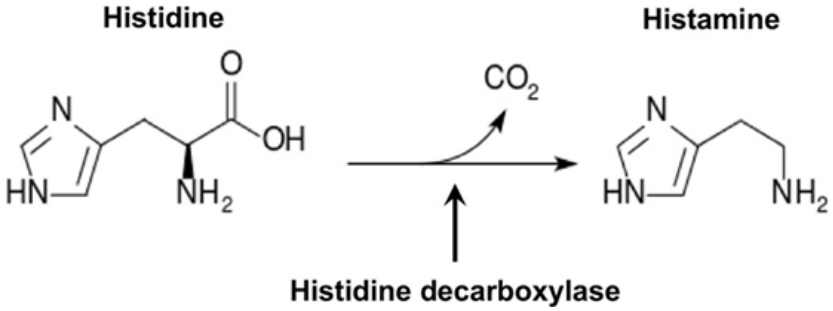




- **التيروزين** يشتق منه **هرمونات الدرق T3** و **T4** عبر إضافة 3 أو 4 ذرات يود لجزيئتين تيروزين كالتالي:



وكذلك تشتق هرمونات **الكاتيكول أمين** (الأدرينالين والنورأدرينالين والدوبامين) بدءاً من التيروزين مروراً بثنائي هدروكسي فينيل ألانين Dopa (لها دور كبير بالتحكم بالضغط وضربات القلب والقصبات).



- **الهستدين** يشتق منه **الهستامين** الذي له تأثيرات على الضغط والجلد والحساسية والقصبات وحموضة المعدة وغيرها.