الفصل الخامس عشر

هضم وامتصاص وأيض البروتينات
Digestion, Absorption and Metabolism of Proteins

● هضم البروتينات ● امتصاص البروتينات ● أيض البروتينات ● دورة اليوريا ● الاستخدامات الأخرى للأحماض الأمينية.

(١٥,١) هضم البروتينات Digestion of Proteins

يقصد بهضم البروتينات تحليلها مائيًا إلى مركبات بسيطة (الأحماض الأمينية) ليسهل امتصاصها من خلال جدار الأمعاء. وتتم عملية هضم البروتينات في الجهاز المعوي intestinal tract بمساعدة مجموعة كبيرة من الإنزيمات المحللة للبروتين proteolytic enzymes التي تتميز بصفة التخصص specificty ، حيث يعمل كل إنزيم على تكسير رابطة ببتيدية محددة ومجاورة لأحماض أمينية محددة. ويمكن تقسيم البروتينات تبعًا لمصادرها إلى الآتي:

١ ـ **البروتينات الخارجية**: وهي التي توجد في الغذاء المتناول، أي يكون مصدرها من خارج الجسم exogenous source .

٢ ـ **البروتينات الداخلية**: وهي التي يكون مصدرها من داخل الجسم endogenous source مثل أنسجة الجسم المتهدمة وبقايا الإنزيمات.

تسمى الإنزيمات التي تحلل البروتينات بالبروتيزات proteases ، وتوجد في المعدة والأمعاء الدقيقة، وتفرز هذه الإنزيمات في صورة غير نشيطة تسمى المولدات precursors والتي يجري تنشيطها فيما بعد إلى الصورة النشيطة القادرة على تحليل البروتين عن طريق شق cleaving off السلسلة الببتيدية التي تغلف المركز الإنزيمي النشيط. ويمكن تلخيص مراحل هضم البروتينات داخل الجهاز الهضمي لدى الإنسان كالتالي:

١ ـ الفـــم Mouth

لا يحدث هضم للبروتينات في الفم لأن اللعاب لا يحتوي على الإنزيمات المحللة للبروتينـات، إلا أن عملية المضـغ chewing تعمل على طحن الغذاء وزيادة المساحة السطحية المعرضة للإنزيمات.

٢ ـ المعـدة Stomach

يبدأ هضم البروتينات جزئيًا في المعدة، حيث يفرز إنزيم الببسينوجين pepsino-gen ، وهو عبارة عن المولد غير النشيط لإنزيم الببسين pepsin النشيط (Gastric pro-tease) . وعادة يتحول مولد الإنزيم هذا بفعل حمض الهيدروكلوريك (HC1) hyd-rochloric acid الموجود في المعدة إلى الصورة النشيطة (الببسين) والتي تعمل على تكسير الـروابط الببتيدية التي تربط الأحمـاض الأمينية العـطرية aromatic amino acids مثل التيروسين tyrosine والفنيل ألانين phenylalanine منتجة ببتيدات متعددة polypeptides (انظر الفصل الثالث).

٣ ـ الأمعاء الدقيقة Small intestine

تعتبر الأمعاء الدقيقة الموقع الرئيس الذي يتم فيه هضم البروتينات، حيث تمر البروتينات التي هضمت جزئيًا من المعدة إلى الأمعاء الدقيقة ذات الوسط القلوي والذي يعمل على معادلة حموضة المعدة.

وتفرز المعدة الإنزيمات التالية:

(ا) التربسينوجين Trypsinogen

وهو عبارة عن المولد precursor غير النشيط لإنزيم التربسين trypsin النشيط الذي يعمل على فصل مجموعات الكربوكسيل (COOH) من الأحماض الأمينية أرجنين ar-ginine ولايسين lysine نتيجة لتكسيره للروابط الببتيدية المتصلة بمجموعة الهيدروكسيل.

(ب) كيموتربسينوجين Chymotrypsinogen

وهو عبارة عن المولد precursor غير النشيط لإنزيم الكيموتربسين chymotrypsin النشيط الذي يعمل على تكسير الروابط الببتيدية المتصلة بمجموعة الكربوكسيل (COOH) في حمض التربتوفان tryptophan والفنيل ألانين phenylalanine والتيروسين tyrosin .

(جـ) بروكربوكسي ببتيديز Procarboxypeptidase

هو عبارة عن المولد precursor غير النشيط لإنزيم الكربوكسي ببتيديز car-boxypeptidase النشيط الذي يعمل على تكسير الروابط الببتيدية التي تلي مجموعة الكربوكسيل الطرفية في السلسلة الببتيدية القصيرة.

بروتينات وببتيدات متعددة (Proteins and polypeptides) ← (الإنزيمات البنكرياسية: Trypsin, Chymotrypsin, Carboxypeptidase) ببتيدات قصيرة (Oligopeptides) + أحماض أمينية (Amino acids)

وتجدر الإشارة إلى أن جميع مولدات الإنزيمات precursors الثلاثة السابقة يفرزها البنكرياس (Pancreatic proteases) ، وتعمل مع إنزيم المعدة (الببسين) على تحليل ٣٠٪ من البروتينات الغذائية إلى أحماض أمينية حرة، و ٧٠٪ إلى ببتيدات صغيرة oligopeptides or small peptides ، وهذه الأخيرة يُكمِّل هضمها بواسطة الإنزيمات التي تفرزها خلايا الأمعاء الدقيقة (Intestinal proteases) التالية :

(د) أمينو أوليجو ببتيديز Amino-oligopeptidase

وهو عبارة عن إنزيم تفرزه خلايا تلافيف الأمعاء الدقيقة ويعمل على تكسير الروابط الببتيدية في الببتيدات القصيرة oligopeptides عند مجموعة الأمين الطرفية منتجًا أحماضًا أمينية.

البيتيدة المعوية النشيطة Vascoactive intestinal peptide (VIP)

تفرزها الأعصاب المعوية، وتنشط إفراز الإنزيم البنكرياسي وثاني كربونات من الأمعاء.

(١٥,٢) امتصاص البروتينات Absorption of Proteins

يمتص الجزء الأكبر من البروتينات المهضومة على صورة أحماض أمينية amino acids من خلال جدار الأمعاء الدقيقة إما بطريقة الانتشار diffusion أو بطريقة النقل النشيط active transport التي تحتاج إلى الطاقة والصوديوم. كما يحدث امتصاص للببتيدات القصيرة (الثنائية والثلاثية) الموجودة في تجويف الأمعاء من خلال جدار الأمعاء الدقيقة، حيث وجد بأن معدل سرعة امتصاصها يكون أعلى من معدل سرعة امتصاص الأحماض الأمينية الحرة. وفي داخل خلايا تلافيف الأمعاء الدقيقة تتحلل الببتيدات الثنائية والثلاثية إلى أحماض حرة. كذلك وجد بأن معدل امتصاص المتماثلات الطبيعية من نوع L للأحماض الأمينية (L-isomers) أسرع من معدل امتصاص المتماثلات من نوع D (D-isomers) . ولقد وجد أن حوالي ٦٠٪ من الأحماض الأمينية يُمتص من الأمعاء الدقيقة، و ٢٨٪ في القولون، و ١٢٪ في المعدة. كما تجدر الإشارة إلى أن تناول بعض الأحماض الأمينية قد يمنع امتصاص أحماض أمينية أخرى، وذلك لأن الأحماض الأمينية الحرة الموجودة في الأمعاء تتنافس على الحامل carrier الذي يقوم بنقلها من خلال جدار الأمعاء. وتنتقل الأحماض الأمينية الممتصة مباشرة عن طريق الوريد البابي portal vein إلى الكبد ومنه إلى الدورة الدموية التي توزعها على أنسجة الجسم المختلفة لاستخدامها في بناء البروتينات اللازمة للنمو وصيانة الأنسجة وتكوين الهرمونات والإنزيمات وغيرها.

(١٥,٣) أيض البروتينات Metabolism of Proteins

بعد عملية الهضم تنقل الأحماض الأمينية الممتصة بواسطة الوريد البابي إلى الكبد، ومنه إلى الدورة الدموية لتوزعها على أنسجة الجسم المختلفة حيث تستخدم للأغراض التالية:

١ ـ تصنيع البروتينات.

(هـ) داي ببتيديز Dipeptidase

وهو عبارة عن إنزيم تفرزه خلايا تلافيف الأمعاء الدقيقة، ويعمل على تكسير الروابط في الببتيدات الثنائية dipeptides منتجًا أحماضًا أمينية. كما يوجد إنزيمان آخران في سيتوبلازم cytoplasm خلايا الأمعاء الدقيقة هما: ثنائي ببتيديز dipeptidase وثلاثي ببتيديز tripeptidase ويعملان على تحلل الببتيدات الثنائية والثلاثية إلى أحماض أمينية.

وفيما يلي ملخص لبعض الببتيدات المنظمة لعملية هضم الغذاء في المعدة والأمعاء:

هستامين Histamin

تفرزه الأغشية المخاطية mucosa في المعدة، ويعمل على تنشيط إفراز حمض الهيدروكلوريك المعدي الذي يساعد على تحويل الببسينوجين غير النشيط إلى إنزيم الببسين النشيط.

أستيل كولين Acetylcholin

تفرزه الأعصاب المعدية، ويعمل على تنشيط إفراز حمض الهيدروكلوريك، ويحفز على إفراز هرمون الجاسترين gastrin.

موتيلين Motilin

تفرزه الأغشية المخاطية المبطنة للاثنا عشر والصائم، ويعمل على تنشيط حركة المعدة والأمعاء.

سوماتوستاتين Somatostatin

تفرزه خلايا المعدة والأمعاء، ويعمل على إيقاف إنتاج حمض الهيدروكلوريك في المعدة وكذلك الهرمونات.

الببتيدة المعدية المثبطة Gastric inhibitory peptide (GIP)

تفرزها الأغشية المخاطية في الاثنا عشر والصائم، وتلعب دورًا مهمًّا فيما يتعلق بتثبيط إنتاج الحمض المعدي وحركة المعدة، بالإضافة إلى أنها تنشط الإفرازات المعوية، وتحفز على إفراز الأنسولين من البنكرياس.

٢ ـ إنتاج الطاقة.

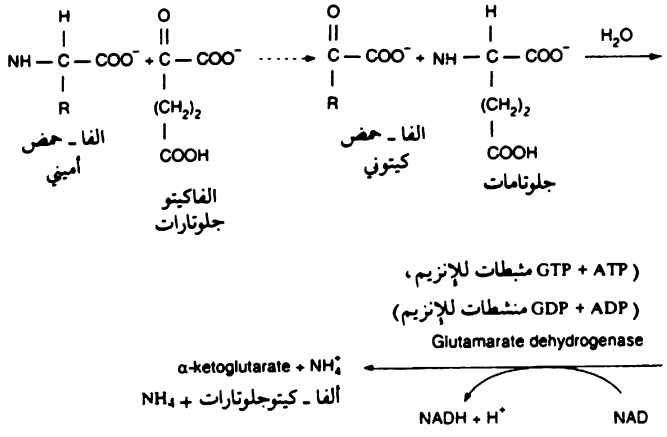
٣ ـ تصنيع مركبات نيتروجينية غير بروتينية.

ويتضمن أيض البروتينات عمليتين رئيستين هما: أولاً تهدم الأحماض الأمينية breakdown of amino acids وثانيًا تصنيع البروتينات protein synthesis ، وسوف نقوم فيما يلي بمناقشة هاتين العمليتين بشيء من التفصيل.

أولاً: تهدم الأحماض الأمينية Breakdown of amino acids

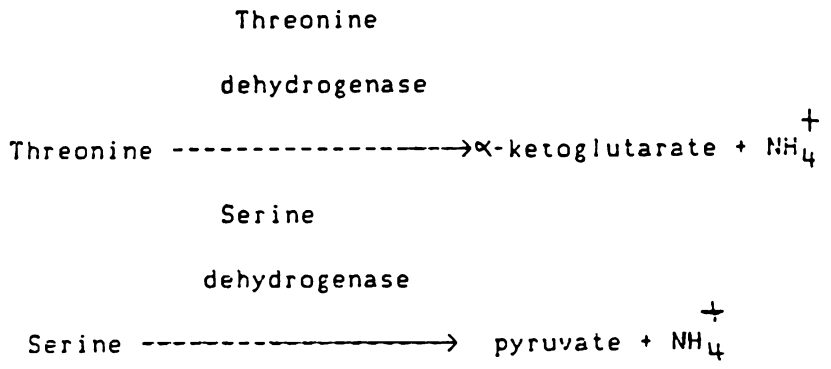
يحدث تهدم للأحماض الأمينية في الكبد بصورة رئيسة وفي الكُليتين بصورة جزئية، حيث تتحول مجموعة الأمين amino group(NH_3^+) إلى يوريا (البولة) urea ، أما الهيكل الكربوني carbon skeleton (الأحماض الكيتونية Keto acids) المتبقي من الحمض الأميني فإنه ينقل إلى دورة كربس لإنتاج الطاقة.

وتنتزع مجموعة الأمين من الحمض الأميني بمساعدة إنزيم ترانس أمنيز trans-aminase الذي يعمل على نقل مجموعة الأمين من حمض أميني إلى حمض كيتوني α-di-caotek ، أي يجري تبادل لمجموعتي الأمين والكيتون كل محل الآخر. حيث إن مجموعة الأمين في الحمض الأميني تنقل إلى مركب الفا ـ كيتو جلوتارات α-ketoglutarate لتكوين مركب الجلوتامات glutamate الذي تزال منه مجموعة الأمين لإنتاج الأمونيا (NH_4^+) التي تستخدم لتصنيع اليوريا في دورة اليوريا. ويمكن توضيح عملية نزع مجموعة الأمين التأكسدية oxiditive deamination من الحمض الأميني كما يلي:



(تستخدم لتكوين اليوريا التي تخرج مع البول)

أما بالنسبة للأحماض الأمينية السيرين serine والثريونين threonine فإنها تتحول مباشرة إلى أمونيا (NH_4^+) نظرًا لأنها تحتوي على مجموعة هيدروكسيل، أي أنه يحدث نزع مباشرة لمجموعة الأمين من الحمض الأميني بمساعدة إنزيم الديهيدروجينيز dehydrogenase ، وتسمى هذه الحالة بنزع مجموعة الأمين غير التأكسدية Non-oxiditive deamination .



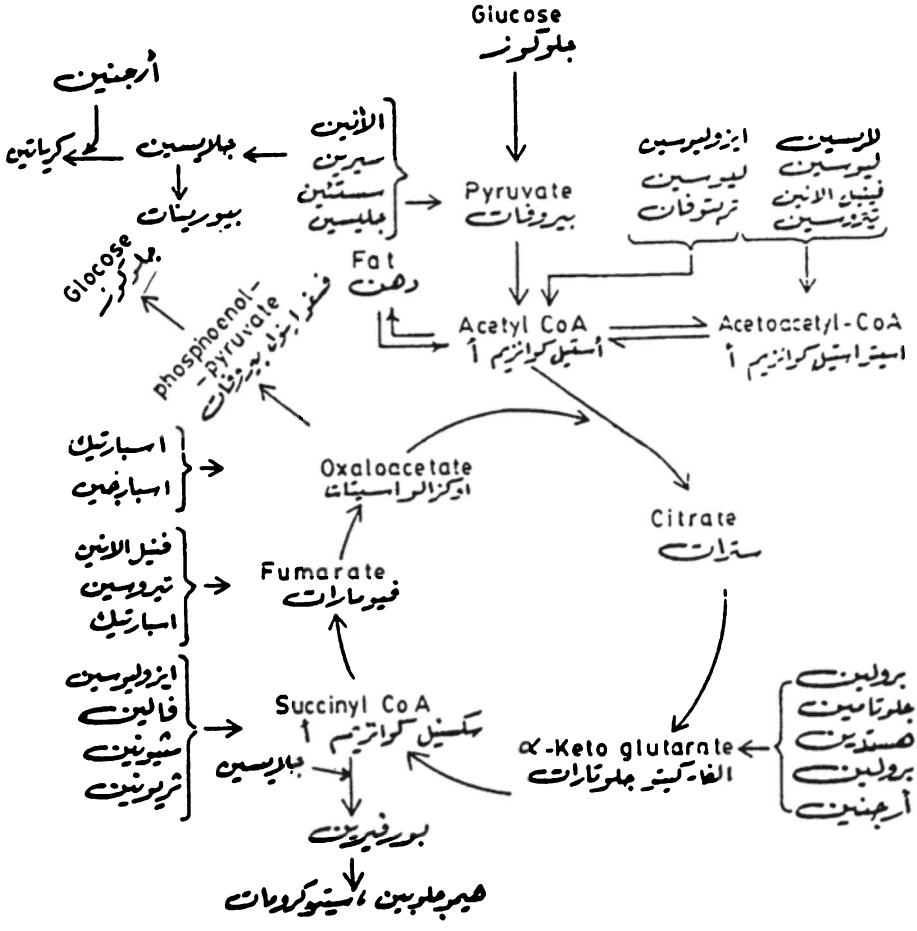
وتجدر الإشارة إلى أن الأمونيا التي تكونت من عملية تهدم الأحماض الأمينية (نزع مجموعة الأمين) تستخدم للتصنيع الحيوي لبعض المركبات النيتروجينية (أحماض أمينية، بيورينات purines ، بيريميدينات pyrimidines ، كرياتين creatine وغيرها من المركبات النيتروجينية غير البروتينية)، وتستخدم الكمية الزائدة من النيتروجين (الأمونيا) لتصنيع اليوريا (التي تخرج مع البول) من خلال دورة اليوريا. أما الهيكل الكربوني (الفا ـ حمض كيتوني) المتبقي من إزاحة مجموعة الأمين من الحمض الأميني فإنه يتجه إلى دورة كربس لإنتاج الطاقة. وتقسم الأحماض الأمينية التي تدخل دورة كربس إلى قسمين هما:

١ ـ الأحماض الأمينية الجليكوجينية Glycogenic amino acids

وهي الأحماض الأمينية التي تتحول إلى أكسالو أسيتات oxaloacetate وفيومارات fumarate ، وسكسينيل كوإنزيم ا succinyl CoA والفاكيتو جلوتارات α-ketoglutarate ، حيث تسبب زيادة في تصنيع الجلوكوز. وتقدر نسبة الأحماض الأمينية الجليكوجينية بحوالي ٥٨٪ من وزن البروتين، ويمكنها أن تتحول إلى جلوكوز بعد عملية نزع مجموعة الأمين منها.

٢ ـ الأحماض الأمينية الكيتوجينية Ketogenic amino acids

وهي الأحماض الأمينية التي تتحول إلى أستيل كوإنزيم ا acetyl CoA وأسيتوأستيل كوإنزيم ا acetoacetyl CoA وتسبب زيادة في الأجسام الكيتونية keton bodies في الجسم (ويمكن أن تتحول إلى دهن). وتدخل الأحماض الكيتونية (الهيكل الكربوني للأحماض الأمينية) دروة كربس من مواقع مختلفة حسب الأحماض الأمينية التي اشتقت منها. وتقدر نسبة الأحماض الأمينية الكيتوجينية بحوالي ٤٥٪ من وزن البروتين. والشكل (١٥,١) يوضح مواقع دخول الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية دورة كربس.



شكل (١٥,١) مواقع دخول الهياكل الكربونية للأحماض الأمينية دورة كربس.

ثانيًا: تصنيع البروتين Protein synthesis

يستطيع جسم الإنسان تصنيع البروتينات داخله بواسطة المعلومات الجينية gene-tic information (أو الشفرة) الموجودة في حمض دي أوكسي ريبونيوكليك DNA (حمض النواة الريبوزي منزوع الأكسجين، (dica cielcunobiryxoed) الذي يوجد في نواة الخلية cell nucleus . بمعنى أن المعلومات الجينية الموجودة في الـ DNA تحدد نوع البروتين اللازم تصنيعه في خلايا الجسم وهذه الجينات تنتقل من جيل إلى آخر منذ الولادة. ويمكن توضيح سريان المعلومات الجينية في الخلايا كالتالي:

DNA ———> RNA ———————> protien

نسخ ترجمة وتوصيل المعلومات

Transcription Translation

وكل خلية في الجسم لها القدرة على تصنيع أنواع مختلفة من البروتينات التي يبقى بعضها داخل الخلية لتكوين الهيكل البنائي لها، ويغادر الجزء الآخر منها، مثل الإنزيمات والهرمونات والأنسولين، الخلية للقيام بوظائف أخرى. ويتطلب تصنيع البروتين المواد التالية:

١ ـ حمض دي أوكسي ريبونيوكليك (DNA)

يعتبر المصدر الرئيسي للمعلومات الجينية، أي النموذج pattern الضروري لتوجيه تصنيع البروتين في أنسجة الجسم، ويوجد فقط في نواة الخلية.

٢ ـ حمض ريبونيوكليك (حمض النواة) Ribonucleic acid (RNA)

يقوم بنقل المعلومات من النواة إلى سيتوبلازم الخلية، حيث يتم تصنيع البروتين على الريبوزومات ribososmes .

٣ ـ حمض الريبونيوكليك الناقل Trnasfer RNA (t-RNA)

يعمل على حمل الأحماض الأمينية ونقلها إلى الريبوزومات لتكوين الروابط الببتيدية.

٤ ـ حمض الريبونيوكليك الرسولي Messenger RNA (m-RNA)

يقوم بنقل المعلومات الجينية إلى مواقع تصنيع البروتين على الريبوزومات، حيث يوجه صف وترتيب الأحماض الأمينية حسب نوع البروتين المطلوب تصنيعه.

٥ ـ الأحماض الأمينية Amino acids

تستخدم لتصنيع البروتين الجديد.

٦ ـ أدينوسين ثلاثي الفوسفات Adenosine triphosphate (ATP)

يعد مصدرًا للطاقة.

٧ ـ ريبوزوم Ribosome

يعد جهاز تصنيع البروتين في سيتوبلازم الخلية.

٨ ـ الإنزيمات Enzymes

تساعد على تصنيع الحمض الأميني النشيط، وتكوين الروابط الببتيدية في البروتين الجديد. ويمكن تلخيص خطوات تصنيع البروتين كالآتي:

(ا) يبدأ تصنيع البروتين بانقسام الـ DNA لتكوين نسخة متتامة complementary copy له تسمى الـ m-RNA التي تحمل جميع المعلومات الجينية (الشفرة) الموجودة في الـ DNA . وتسمى عملية تكوين m-RNA من DNA بالنسخ transcription . ويشبه m-RNA في تركيبه DNA فيما عدا احتوائه على السكر الخماسي ريبوز ribose بدلاً من deoxyribose وكذلك شريط strand واحد بدلاً من إثنين وقاعدة pyrimidine تحل محل thymine .

(ب) يخرج الـ m-RNA من داخل نواة الخلية متجهًا إلى السيتوبلازم ليرتبط مع الريبوزوم ribosome الذي يسمى بآلة تصنيع البروتين، لأنه الموقع الذي يتم فيه تصنيع

البروتين. وتجدر الإشارة إلى أن بعضًا من الأحماض الأمينية الموجودة في السيتوبلازم مصدرها مجمع الأحماض الأمينية amino acid pool ، وكذلك بعض الأحماض الأمينية غير الأساسية التي تم تصنيعها داخل الخلية.

(جـ) يقوم بعد ذلك t-RNA بحمل أحماض أمينية محددة في صورتها النشيطة من سوائل الخلية ونقلها إلى m-RNA لتبدأ عملية تصنيع البروتين. لهذا يحتوي t-RNA على موقع لاتصال الحمض الأميني amino acid attachment site ، وكذلك على موقع تميز rec-ognition site ، وهو عبارة عن ثلاث قواعد bases تسمى مضاد الشفرة anticodon (ثلاث قواعد متتامة). تستطيع مضادات الشفرة الموجودة على t-RNA تمييز الشفرة codon (وحدة ثلاثية النيوكليوتيد أو القواعد) الموجودة على m-RNA . حيث ترتبط كل شفرة codon واحدة بحمض أميني واحد. ولذلك فإن ترتيب الشفرات codons على m-RNA يوجه ويحدد المكان الخاص للحمض الأميني في البروتين الجديد. واتصال الحمض الأميني بـ t-RNA يترتب عليه تكوين مركب يسمى أمينو أسيل t-RNA (aminoacyl-t-RNA) ، ويتم ذلك في وجود الطاقة ومساعد إنزيم السينثيتيز aminoacyl-t-RNA synthetase .

$$\text{t-RNA} + \text{AA} + \text{ATP} \longrightarrow \text{Aminoacyl-t-RNA} + \text{PPi}$$

ولا تستطيع الأحماض الأمينية الحرة بمفردها تمييز الشفرات الموجودة على m-RNA ، ولكن الأحماض الأمينية التي تُحمل بواسطة t-RNA + (amonyl -t- RNA) تستطيع تميز هذه الشفرات.

ثلاث قواعد تمثل شفرة واحدة

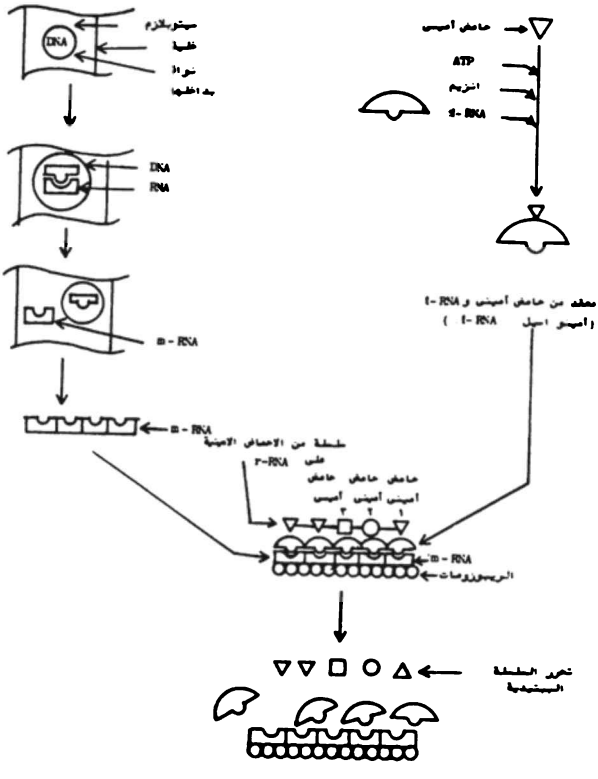
سلسلة من القواعد على m-RNA ← JKL GHI DEF ABC

سلسلة من الأحماض الأمينية ← aa4- aa3- aa2- aa1

وتجدر الإشارة إلى أن كل نوع من الأحماض الأمينية لديه حامل معين (t-RNA) ينقله إلى m-RNA على الريبوزومات. وعندما يحتاج m-RNA إلى حمض أميني فإن

t-RNA يحمل الحمض المطلوب إليه. ويستمر t-RNA في نقل الأحماض الأمينية إلى m-RNA مما يؤدي إلى تكـون شريط مستقيم من الأحـماض الأمينية، يلي ذلك تكون الروابط الببتيدية بمساعدة إنزيمات معينة. بمعنى أوضح أن t-RNA لديه القدرة على انتقاء ونقل أحماض أمينية معينة من السيتوبلازم إلى مواقع تصنيع البروتين، بالإضافة إلى أنه يستطيع تفسير أو ترجمة الشفرات المحمولة على m-RNA (Translation) ونقل الحمض الأميني إلى المـوقـع المنـاسب في سلسلة البروتين الجديد. وفي النهاية تتحرر أو تنطلق السلسلة الببتيدية الكاملة (البروتين)، بينما يتحلل m-RNA ، ويعود t-RNA في صورة حرة مرة أخرى إلى السيتوبلازم لنقل حمض أميني آخر.

ويبين الشكل (٢, ١٥) خطوات تصنيع البروتين في الجسم.



شكل (٢, ١٥). خطوط تصنيع البروتين في الجسم.

وبشكل عام فإن عملية تصنيع البروتين تتم على ثلاث مراحل هي :

١ ـ البدء Initiation

تبدأ هذه المرحلة من بداية ارتباط أمينو أسيل t-RNA مع نقطة البداية m-RNA ، أي أن t-RNA الأولى (الابتدائي) يشغل الموقع P على الريبوزوم .

٢ ـ الإطالة Elongation

وتبدأ بارتباط أمينوأسيل t-RNA بموقع آخر على الريبوزوم يسمى الموقع A .

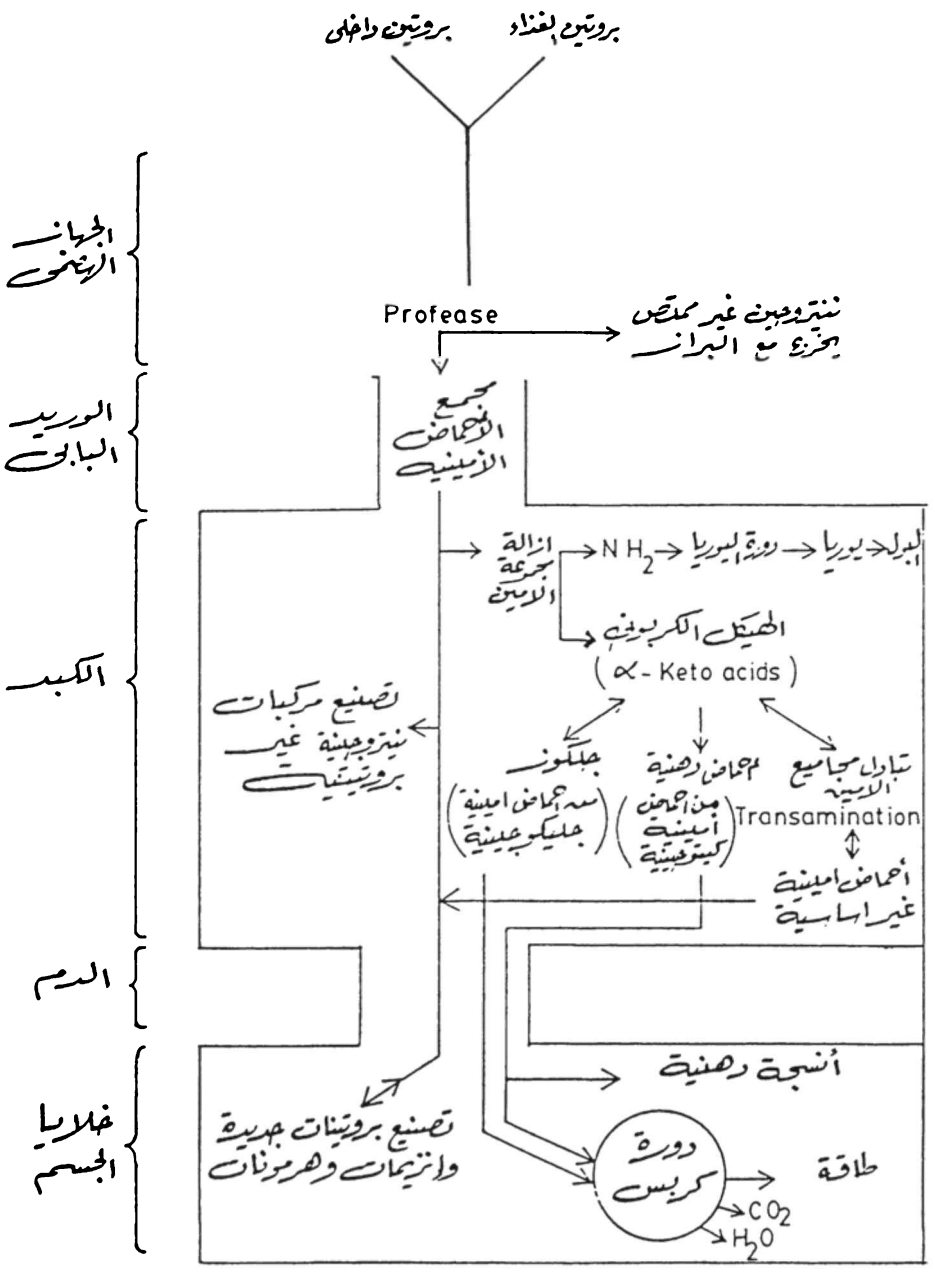
٣ ـ النهاية Termination

وتبدأ عندما تظهر إشارة قف stop signal على m-RNA ، والتي يليها انفصال أو تحرر الببتيدة المتعددة polypeptide الجديدة (البروتين الجديد) .

وقد قدرت كمية البروتين التي يستطيع أن يصنعها الجسم في اليوم بحوالي ٣٠٠ جرام ، وتعادل هذه الكمية حوالي ٤ـ٥ مرات كمية البروتين المتناولة يوميًا . ويستلزم بروتين جديد في الجسم توافر جميع الأحماض الأمينية اللازمة من حيث الكمية والنوعية ، حيث إن نقص أو غياب أحد الأحماض الأمينية الأساسية يؤدي إلى استخدام الأحماض الأمينية في أغراض أخرى غير عمليات البناء والنمو. ويبين الشكل (١٥,٣) خطوات أيض البروتين في الجسم .

(١٥,٤) دورة اليوريا Urea Cycle

تعتبر الأمونيا التي تكونت من مجموعة الأمين أثناء تهدم الأحماض الأمينية سامة للإنسان ، لذلك يتخلص منها الجسم بتحويلها إلى اليوريا التي تخرج مع البول . ويعد الكبد العضو الرئيس لتصنيع اليوريا ، لهذا فإن حدوث اضطراب أو ضعف في وظائف الكبد يؤدي إلى دخول الأمونيا إلى الدورة الدموية وتراكمها في أنسجة الجسم بتركيزات عالية وسامة مما يسبب تأثيرات ضارة على الجهاز العصبي المركزي . ويمكن تلخيص دورة اليوريا للتخلص من أمونيا (نيتروجين) الأحماض الأمينية في الخطوات التالية :



شكل (١٥,٣). خطوات أيض البروتين في الجسم.

١ ـ تتحد الأمونيا NH_4^+ مع ثاني أكسيد الكربون الناتج من أكسدة العناصر الغذائية في دورة كربس في وجود ATP لتكوين مركب فوسفات الكربامويل carbamoyl phosphate بمساعدة إنزيم سينثيتيز فوسفات الكربامويل carbamoyl phosphate synthetase .

٢ ـ يتكثف الأورنثين ornithin (حمض أميني) مع فوسفات الكربامويل لتبدأ دورة اليوريا بتكون مركب السترولين citrulline .

٣ ـ يتحد السترولين مع جزيء أمونيا آخر مصدره حمض الأسبارتيك aspartic acid لتكوين أرجينوسكسينات الذي ينقسم إلى أرجنين arginine وفيومارات fumarate بمساعدة إنزيم argininosuccinase .

٤ ـ ينقسم الأرجنين بعد ذلك إلى جزيء واحد من اليوريا urea وجزيء أورنثين الذي يعاد استعماله في دورة جديدة .

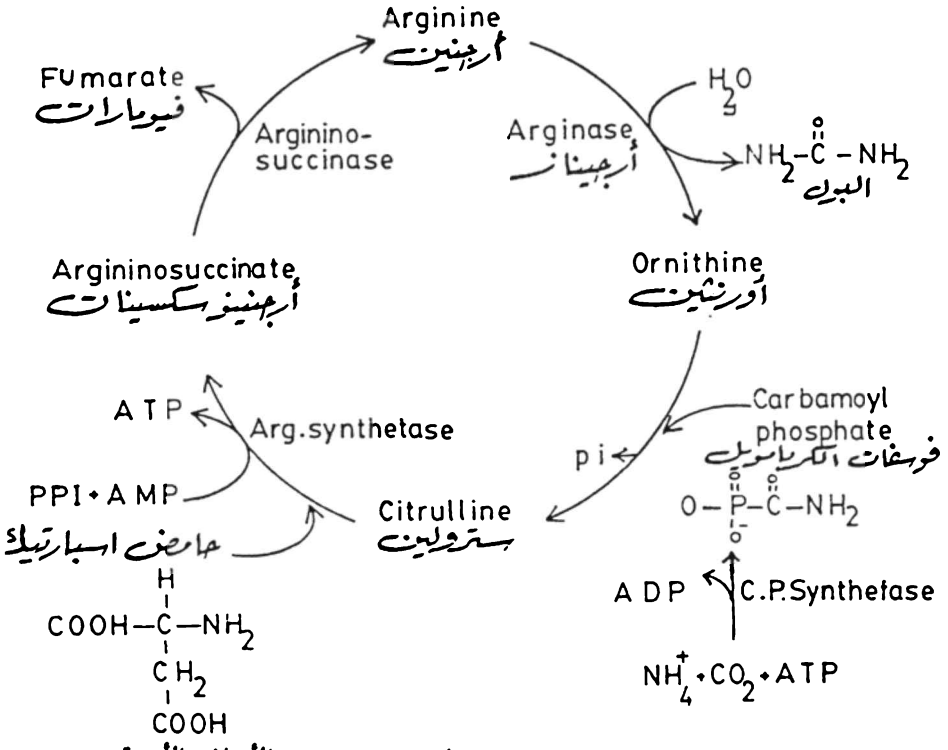
يتضح مما ذكر أعلاه بأن دورة اليوريا تستطيع تخليص الجسم من الأمونيا في صورة يوريا تطرح خارج الجسم . كما يتبين بأن اليوريا تحتوي على ذرتي نيتروجين (HN_2 - $C-NH_2$) ، إحداها مصدرها الأمونيا والأخرى مصدرها حمض الأسبارتيك، أما ذرة الكربون في اليوريا فإن مصدرها ثاني أكسيد الكربون .

ويبين الشكل (١٥,٤) دورة اليوريا لتخليص الجسم من نيتروجين الأحماض الأمينية .

(١٥,٥) الاستخدامات الأخرى للأحماض الأمينية

Others Uses of Amino Acids

بالإضافة إلى استخدام الأحماض الأمينية في تصنيع البروتينات وإنتاج الطاقة والجلوكونيوجنسيز gluconeogenesis (بيروفات ـ ـ ـ جلوكوز)، فإنها تسهم في تكوين مركبات نيتروجينية غير بروتينية، أي أنها تحتوي على النيتروجين لكنها تختلف في تركيبها الكيميائي عن البروتينات. وتلعب هذه المركبات دورًا مهمًّا في العمليات والتفاعلات الحيوية داخل الجسم.



شكل (٤, ١٥). دورة اليوريا لتخليص الجسم من نيتروجين الأحماض الأمينية.

١ ـ التربتوفان

يسهم في إمداد الجسم باحتياجاته من فيتامين حمض النيكوتنيك nicotinic acid (نياسين) نظرًا لأن له القدرة على التحول إلى هذا الفيتامين داخل الجسم، كما أنه يستعمل في تكوين مركب خماسي هيدروكس تربتامين 5-hydroxy trytamine ، وهي مادة تطلقها الصفائح الدموية ومعظم أنسجة الجسم وتساعد على تكوين جلطة الدم وإيقاف النزيف. كذلك يسهم التربتوفان في تكوين هرمون السيروتونين serotonin الذي يعمل على نقل النبضات العصبية وهو يوجد في النسيج العصبي ومصل الدم والصفائح الدموية والغشاء المخاطي المبطن لجدار القناة الهضمية.

٢ ـ الجليسين

يدخل في تركيب الكرياتين creatine وأحماض الصفراء وكذلك البورفيرين por-phyrin الذي يدخل في تركيب الهيموجلوبين والسيتوكرومات. ويسهم الجليسين في

تخليص الجسم من السموم، فمثلاً يرتبط الجليسين مع حمض البنزويك benzoic acid من الكبد لتكوين حمض الهيبوريك hippuric acid الذي يطرح خارج الجسم مع البول.

٣ ـ التيروسين والفنيل ألانين

يدخل هذان الحمضان في تكوين هرموني الثيروكسين thyroxine والأدرنالين وفي صبغة الميلانين melanine وفي قرنية العين. كذلك يدخل التيروسين في تكوين هرمون ابينفيرين epinephrine وهرمون نور ـ ابينفيرين nor-epinephrine .

٤ ـ الهستدين

يدخل في تركيب مركب الهستامين histamine الذي يعمل على تحفيز إفراز حمض الهيدروكلوريك في المعدة، كما أنه يعمل كمادة مهدئة في الجهاز الدوري بالإضافة إلى أنه مخفض للضغط. ويوجد الهستامين في معظم أنسجة الجسم وفي القناة الهضمية.

٥ ـ المثيونين والسيرين

يسهمان في تصنيع مركب الكولين choline والإيثانول أمين اللذان يدخلان في تركيب الفوسفولبيدات حيث إنهما يعطيان مجموعات الميثيل.

٦ ـ الأرجنين والجليسين

هما المولدان لمركب الكرياتين creatine الذي يخزن الطاقة في العضلات في صورة فوسفات الكرياتين.

٧ ـ حمض الأسبارتيك والجليسين

ينتجان البيورينات purines والبيريميدينات pyrimidines التي تدخل في تركيب النيوكليوتيدات وأحماض النواة.