تفكك البروتينات والحموض الامينية

Protein & Amino Acids Degradation

- **مقدمة**

يشغل استقلاب البروتينات مكانة خاصة في تفاعلات الاستقلاب العامة لأنه يسهم بشكل رئيسي في تفاعلات التجديد والترميم المستمرين لمختلف مكونات الكائن الحي فالتجدد الذاتي هو عبارة عن الاصطناع الحيوي والمبرمج بدقة لجزئيات بروتينية متخصصة وذلك باستخدام الطاقة الناتجة عن تفكك الشحوم وباستخدام المواد الأولية على شكل وحدات بنيوية–الهياكل الكربونية للحموض الأمينية الناتجة عن تفكك البروتينات او السكريات.

كما يمكن للبروتينات أن تؤدي دور مانح للطاقة وخاصة عندما تزيد كميتها في الغذاء أو في حالة الجوع عندك تفكك بروتينات الجسم وتعرضها لتفاعلات الاكسدة او عند الإصابة ببعض الأمراض كداء السكري مثلا. تعطي أكسدة غرام وتحد من البروتينات 16,8 كيلوجول من الطاقة ولكن لا يمكن الاستغناء عن هذه الطاقة كليا عند توفر السكاكر أو الشحوم.

من المعروف ان حذف الشحوم والسكاكر من الغذاء لفترة طويلة لا يؤدي الى تضرر الأنسان بشكل جدي. اما حذف البروتينات من الغذاء فأنه ينعكس مباشرة على الجسم بحدوث خلل كبير في حالته الصحية ونشوء أمراض غير عكوسة احيانا. فالبروتينات مركبات ضرورية ولابديل عنها بالنسبة للجسم فعلى الرغم من الدور البنيوي للبروتينات في الجسم الا انا اعراض نقصها تظهر بانخفاض فعالية الإنزيمات المختلفة وكذلك باختلال اصطناع عدد من الهرمونات ذات البنية البروتينية والتي تقوم بتنظيم تفاعلات الاستقلاب في كامل الجسم.

ان اكثر ما يميز استقلاب البروتينات هو التفرع الكبير لتفاعلاته وأشكاله. فمن المعروف ان التحولات الكيمائية التي تتعرض لها الحموض الأمينية العشرون التي تدخل في بنية البروتينات، تؤدي الى تشكل بضع مئات من المركبات الوسطية يرتبط العديد منها بشكل وثيق مع المركبات الوسطية لاستقلاب السكاكر والشحوم، كما يبلغ عد الانزيمات في استقلاب المركبات الأزويتة المئات ايضا. بالإضافة لما سبق فإن أي

خلل في الطريق الاستقلابية حتى لواحد فقط من الحموض الأمينية سيؤدي الى تراكم مركبات وسطية غير معروفة نظرا لعدم وجود كرق استقلابية متخصصة بأكسدتها .

وهكذا تبين لنا صعوبة دراسة وتنسيق المعطيات عن ألية تنظيم تفاعلات الاستقلاب الآزوتي في الحالة الطبيعية، وخاصة في حالة المرض.

الحالة الديناميكية للبروتينات

يتحقق التكامل الثابت والهادف لجميع مكونات الجسم نتيجة التوازن القائم بين سرعتي تفاعلات الاصطناع وتفاعلات التفكك للمركبات الحيوية فيه. وقد دل استخدام طريقة النظائر المشعة على حقيقة ظاهرة "التجدد الذاتي" المستمر لبنية الكائن الحي، والتي تخضع سواء في الحالة الطبيعة او اثناء المرض الى تأثيرات الجملة العصبية ولطبيعة التركيب الكيميائي لمختلف مكونات الجسم ومناطق تواجدها.

ومن المعروف ان تفاعلات الاصطناع الحيوي في طور النمو وتمايز الاعضاء والنسج الجديدة تزيد سرعة من تفاعلات التفكك.

كما يلاحظ ان تفاعلات تفكك المركبات البنيوية تزيد بسرعتها عن تفاعلات الاصطناع في حالة المرض وفي حالة الجوع، هذا بالإضافة إلى ان جميع بروتينات الجسم تقريبا تتعرض ايضا لتفاعلات التفكك والاصطناع المستمرين . فمثلا يتعرض نصف كمية بروتينات الكبد والغشاء المخاطي للأمعاء لعمليات التفكك وإعادة الاصطناع كل عشرة ايام تقريبا. بينما تكون عملية تجدد بروتينات العضلات والجلد والدماغ أبطأ من ذلك. ويعطي الجدول التالي فكرة عن سرعة تجدد عدد من البروتينات عند الانسام والجرذ.

• **البروتين**	نصف عمر التفكك (يوم)	
	• الانسان	• الجرذ
• كامل الجسم	• 80	• 17
• بروتينات مصل الدم والكبد	• 10	• 6
• العضلات	• 17	• 30 -24

جدول يحدد سرعة تجدد البروتينات عند الانسان والجرذ

يدل استخدام الحموض الأمينية الموسومة ان جسم الإنسان، في مرحلة النمو السريع، يصطنع حوالي ١٠٠ غمن البروتينات يوميا، يخص الكبد منها حوالي ٢٣غ والعضلات حوالي٣٢غ والهيموغلوبين حوالي٨ غ..... وهكذا. كما تلاحظ ظاهرة التجدد الذاتي للبروتينات حتى عند التعرض للجوع الطويل والذي يترافق بتفكك سريع جدا للبروتينات . والملاحظ ان تفكك البروتينات في نسيج ما يترافق غالبا باصطناع سريع لهذه المركبات في نسيج آخر.

هذا وتتعرض البروتينات المناعية للتجدد، حيث يبلغ نصف عمرها حوالي الأسبوعين. أما بالنسبة للهرمونات فيصل نصف عمرها إلى بضع ساعات واحيانا إلى دقائق(كما هو الحال مع الأنسولين).

تبين دراسات أنه اثناء تجدد المركبات البروتينية يحدث خلط بين الحموض الأمينية الناتجة عن تفكك البروتينات داخلية المنشأ والحموض الأمينية التابعة لبروتينات الغذاء. ويطلق على مزيج المركبات داخلية المنشأ وخارجية المنشأ، الذي يستخدم مصدرا لتفاعلات تفكك أو اصطناع المركبات الآزوتية اسم" الاحتياط الاستقلابي " أو "المجمع الاستقلابي metbolic pool" فمثلا تختلط الغلوتامات الواصلة من الأمعاء والناتجة عن تفكك بروتينات الغذاء مع الغلوتامات المتحررة عن تفكك بروتينات الجسم الداخلية لتعطي "مجمع الغلوتامات ". وكذلك تشكل الزمر الأمينية في الغلوتامات مع الزمر الأمينية لمجموع الحموض الأمينية الأخرى وعبر تفاعلات نقل الزمر الأمينية مايسمى "احتياطي الآزوت الحركي" والذي يؤمن انتشار ذرات الآزوت في الجسم(تبلغ قيمة هذا الاحتياطي عند الأنسان البالغ ومتوسط الوزن حوالي ٢غ، وهو مايعادل تقريبا وزن الآزوت في الحموض الأمينية الحرة/ الجسم. وتدل الأبحاث إلى أن ثلثي كمية احتياطي

الأزوت الحركي عند الأنسان تعود إلى البروتينات داخلية المنشأ والثلث الباقي يأتي من بروتينات الغذاء (وهوما يبين أهمية المصدر الداخلي للحموض الأمينية إضافة إلى السرعة العالية لتفاعلات تجدد بروتينات الجسم). هذا ويحتوي الليتر الواحد من دم الأنسان البالغ على حوالي ٥ملغ من الزمر الأمينية على شكى حموض أمينية حرة.

يرتبط استقلاب البروتينات بشكل وثيق مع استقلاب كل من الكربوهيدرات والشحوم والحموض النووية وذلك عبر الحموض الأمينة والحموض a- كيتونية الموافقة ،بحيث يتشكل مجمع استقلالي خلص يرتبط مع المجمعات الاستقلالية الأخرى ويتوازن معها. فمثلا يتحول الألانين وحمض الأسباراتيك بعد نقل زمرهما الأمينية بتفاعلات عكوسة إلى البيروفات والأكساولو اسيتات على الترتيب، بحيث يندمج المركبان الأخيران في تفاعلات حلقة الحمض ثلاثي الكربوكسيل.

العوامل المحددة لحالة استقلاب البروتينات

تتحدد حالة (جهة وسرعة) الاستقلاب البروتيني بعدد من العوامل المختلفة:

*الحالة الفيزيولوجية للجسم وتخضع لسيطرة الجملة العصبية المركزية. ان استقلاب البروتينات يتميز بسرعة عالية عند الاطفال في فترة النمو وكذلك عند الاشخاص الذين يبذلون جهدا عضليا كبيرا وكذلك عند الحوامل والمرضعات. ففي جميع هذه الحالات يحتاج الجسم إلى كميات أكبر من البروتينات.

*كما يتأثر استقلاب البروتينات بشكل واضح بكمية البروتينات في الغذاء. فعند نقص البروتينات الواصلة مع الغذاء يحدث في الجسم تفكك لبروتينات عدد من النسخ (الكبد، بلازما الدم، الغشاء المخاطي للأمعاء وغيرها) وتحرر نتيجة ذلك الحموض الأمينية التي يتم استخدامها طلائع في اصطناع انواع من البروتينات السيتوبلازمية الضرورية كالإنزيمات والهرمونات، ويتغير آخر تضحي بعض البروتينات البنيوية بذاتها في سبيل تحقيق تكامل وحدة تكامل وحدة فعالية الجسم وعلى العكس يؤدي وجود كميات كبيرة من البروتينات في الغذاء إلى تغيرات في عملية استقلابها فتنطرح كميات أكبر من النواتج الآزوتية مع البول كفضلات.

*أما طبيعة الغذاء البروتيني فلها تأثير أكبر على استقلاب البروتينات، وذلك لأن غياب أو حتى نقص واحدمن الحموض الأمينية "غير المعوضة " أو الأساسية essential"،(والتي سيمر ذكرها بعد قليل) ،يمكن أن يؤدي دور العامل المحدد لعملية اصطناع البروتينات في الجسم، اذ يتم هذا الاصطناع وفق مبدأ "الكل او لاشي" ، فهذا الاصطناع لايجري في الخلايا إلا بوجود المجموعة الكاملة من الحموض الأمينية التي تدخل في بنية البروتين المصطنع. كما ان خلل أو تباطؤ امتصاص أي من الحموض الأمينية(بتأثير بعض الأحياء الدقيقة) سينعكس على اصطناع البروتينات، اذ يتباطئ هذا الاصطناع إلا إذا تعويض الحمض الأميني المفقود نتيجة تفكك البروتينات الداخلية.

*تسهم الفعالية الوساطية لإنزيمات جهاز الهضم في تحديد حالة استقلاب البروتينات. فإذا طالت فترة هضم البروتينات، فإن ذلك سيبطئ من عملية امتصاص الحموض الأمينية وهذا بدوره سيؤدي إلى طرح كمية من هذه الحموض مع البراز، وتبدأ حالة التوازن الآزوتي السالب بالظهور عند الانسان.

*تتعلق درجة الإستفادة من بروتينات الغذاء وحموضه الأمينة بكمية ونوعية التركيب البنيوي للكربوهيدرات والشحوم في الوجبات الغذائية. اذ يؤدي وجود كل من الكربوهيدرات والشحوم في الغذاء الى الإقلال من استهلاك البروتينات على شكل "وقود خلوي Cellfuel".وتبين المعطيات التجريبية ان طعام الحمية الحاوي على كمية قليلة من الشحون ومن الطاقة يسبب ازديادا في طرح الحموض الأمينية الحرة مع البول والبراز ويتطور التوازن الآزوتي السالب.

*يتأثر استقلاب البروتينات بتراكيز عدد من الفيتامينات

(مجموعة الفيتامينات$B_{ومنها}$: B $B_{2,}$, B_3 , B_6 وغيرها) في الجسم، كما أن إفرازات الغدد الصماء يؤثر على هذا الاستقلاب. فمثلا يحدث بعد إفراز هرمون كورتيكوتروبين corticotropin (AcTH) وهرمونات الغدة الدرقية إزدياد في سرعة تفكك البروتينات النسيجية. كما ينشط عدد من الهرمونات الأخرى

ومنها هرمونات النمو والاندروجينات والاستروجينات من عملية انضمام الحموض الأمينية الحرة إلى بروتينات النسج وذلك بالرغم من أن آلية هذا التأثير غير معروفة كليا حتى الأن.

يسبب حقن بعض هرمونات قشرة الكظر تفكك البروتينات ونشوء التوازن الآزوتي السالب. وهو مايفسره بعض الباحثين بتنشيط تفاعل إعادة اصطناع الغلوكوز على حساب الهياكل الكربونية للحموض الأمينية بعد نزع زمرها الأمينية.

– التوازن الأزوتي : Balance of Nitrogen

يستخدم مصطلح التوازن الآزوتي لتحديد جهة استقلاب البروتينات وهو يعبر عن مدى تأمين حاجة الأنسان من البروتينات.

يعرف التوازن الأزوتي بأنه "الفرق بين كمية الأزوت الواردة إلى الجسم عن طريق الغذاء وكمية الأزوت المطروحة من الجسم مع الفضلات نواتج استقلابية نهائية (معبرا عنه ب غ/يوم) " وذلك بفرض أن الكتلة الرئيسية لهذا الأزوت الوارد والمطروح ذات منشأ بروتيني. من الضروري هنا الإشارة الى أنه من الممكن معايرة الآزوت الغذائي، وبالتالي البروتينات الواردة مع الغذاء بسهولة ودقة نسبيتين. بينما يصعب تحديد كمية الآزوت العضوي المنطرحة من الجسم، اذ إن المعايرة في هذه الحالة تشمل آزوت البول والبراز وتهمل كمية الأزوت التي يمكن ان تضيع مع اللعاب أو مع الحليب المفرز أو مع طبقات الجلد المتوسفة أو مع الشعر وغيرها....

هناك ثلاث حالات للتوازن الآزوتي: الموجب والمتوازن والسالب.

التوازن الآزوتي الموجب:

وهو الحالة عندما تكون كمية الآزوت المتناولة أكبر من كمية الأزوت المطروحة من الجسم، حيث يحتفظ الجسم من الأزوت ليتم استخدامها في اصطناع بروتينات النسج والأعضاء. تسيطر حالة التوازن الأزوتي الموجب عند الانسان في طور النمو وعند الحوامل، ويستدل منها على انتد سرعة تفاعلات الاصطناع البروتيني تتفوق على سرعة تفاعلات تفكك بروتينات النسج والأعضاء.

التوازن الآزوتي السالب:

وهو الحالة عندما تكون كمية الآزوت المطروحة مع الفضلات أكبر من كمية الآزوت المتناولة مع الغذاء خلال اليوم. وهو ما يلاحظ في حالة الجوع (الجزئي أو الكلي)، وعند نقص البروتينات في الغذاء او عند الإصابة بالأمراض، حيث يحدث تفكك سريع لبروتينات الجسم عند المرضى حتى لو كانت البروتينات الواصلة مع الغذاء كافية من حيث الكمية والنوعية. كما تلاحظ هذه الحالة عند الأنسان في بدء مرحلة الشيخوخة حتى دون ظهور حالات مرضية عنده مما يؤكد على ان سرعة تفاعلات التفكك تزيد عن سرعة تفاعلات الاصطناع بالرغم من كفاية البروتينات الغذائية كما ونوعا.

التوازن الآزوتي المتوازن:

وفيه تكون كمية الآزوت الواصل مع الغذاء إلى الجسم متساوية مع الكمية المطروحة منه، وتميز هذه الحالة الأشخاص البالغين صحيحي الجسم والذين يتناولون وبشكل يومي وجبات غذائية كاملة القيمة الغذائية وتحتوي على كميات معتدلة من البروتينات.

وهكذا تتضح ضرورة وصول البروتينات بشكل مستمر مع الغذاء وان نقص او غياب هذه المركبات من الغذاء يترافق تطور الحالات المرضية، كما يرتبط مفهوم التوازن الازوتي ايضا بمفهوم" معدل البروتينات الغذائية".

معدل البروتينات الغذائية

ان لتحديد كميه البروتينات المطلوب تواجدها في الغذاء للوصول الى حاله التوازن الآزوتي المتوازن عند الانسان في فترات حياته المختلفة, اهميه اقتصاديه واجتماعيه بالإضافة لأهميته الاكاديمية. وقد طرحت افكار متعددة لتحديد نوعيه وكمية الغذاء المطلوبة للإنسان، وتطورت هذه الافكار مع الزمن معتمدة على المعطيات التجريبية للوصول الى ارقام اكثر دقة وقد نشرت معطيات تجارب أجريت على اشخاص متطوعين لتحديد كمية البروتينات الاصغرية في الغذاء والتي تؤمن كامل حاجه الانسان من هذه المركبات للحفاظ على حاله التوازن الغذائي الآزوتي المتوازن.

وقد تبين ان الانسان الذي لم يتناول كميه من البروتينات يطرح يوميا 53 ملغ من الآزوت لكل واحد كغ من وزنه، اي مايعادل23.2غ من البروتينات لشخص عادي وزنه (وزنه٧٠كغ) .

وبتعبير اخر يتفكك في جسم الانسان يوميا ما يعادل 23.2 غ من البروتينات عند بقائه على حميه خاليه من البروتينات. وقد اطلق على هذه الكميه تعبير" عامل الاستهلاك " وقد طرحت فرضية تقول ان وجود هذه الكمية في الغذاء كاف لتغطية حاجه الانسان الدعامية من البروتينات (اي دون استهلاك اي كميه من البروتينات لتأمين مصدر للطاقة).

ولكن تناول 23.2غ من البروتينات يوميا يؤدي الى ظهور التوازن الآزوتي السالب. وعندها بدئ بزياده كميه البروتينات في الوجبات الغذائية تدريجيا للوصول الى حاله التوازن الآزوتي المتوازن.

ولكن المصادر المختلفة لا تعطي ارقاما متشابهة لهذه القيمة، فهي تصل الى 20 غ من بروتينات البيض و 26 غ من بروتين اللحم و 27.6 غ من بروتينات الحليب و٣٠غ من بروتينات البطاطا و 67 غ من بروتينان القمح.

وتدل هذه الارقام على تراوح الحاجه اليومية من البروتينات اللازمة للحفاظ على التوازن الآزوتي المتوازن بدرجه كبيره حسب مصدر البروتين. ولكن يمكن اعتبار الحد الادنى المتوسط لهذه القيم يتراوح ما بين 30. 45غرام بروتين، وهو ما يسمى " الحد الفيزيولوجي البروتيني الأدنى"٠

وتغفل هذه الارقام السابقة امكانيه فقدان الآزوت عن طريق توسف البشرة والتعرق والدموع الشعر والاظافر. وقد تطورت دراسة هذه الارقام مع الزمن بحيث اصبح الحد الفيزيولوجي الادنى للبروتينات يتراوح في مختلف دول العالم ما بين 70 – 100 غ بروتين للرجل البالغ وزنه (70 كيلوغرام طوله 170 سم) اما بالنسبة للأطفال فيتراوح هذا الرقم من السنه الأولى للعمر وحتى 15 سنه ما بين 55 – 100 غ اي ان الجسم في عمر 15 سنة يحتاج من البروتينات الشخص البالغ تماما.

ومن الجدير بالذكر ان الحاجة الى البروتينات تزداد اثناء الحمل والإرضاع وايضا عند الإصابة ببعض الأمراض وخاصه تلك التي تترافق في بفقدان كبير للبروتينات مع البول او مع سوائل الاستسقاء أو النضح(التهابات الأعصاب neuritis، والأمراض المعدية الحاده والحروق والرضوض وغيرها).

القيمة الغذائية للبروتينات

إضافة إلى الناحية الكمية للبروتينات فإن استقلاب هذه المركبات و حاله التوازن الآزوتي يتعلقان بالتركيب البنيوي لها، وقد اجريت تجارب على مجموعتين من الجرذان اعطيت كل منهما نفس الكميه من البروتين ولكن اعطيت اولاهما بروتين الجيلاتين والثانية بروتين الكازئين. وقد لوحظ ظهور حاله التوازن الآزوتي السالب في جرذان المجموعة الأولى والتوازن الآزوتي الموجب في جرذان المجموعة الثانية. وبالطبع فإن السبب في مثل هذه الظاهرة ناتج عن اختلاف التركيب الحمض أميني لهذين البروتينين .وهكذا ظهرت فكره وجود بروتينات ناقصة القيمة الغذائية، فالجيلاتين لا يحتوي على اثار فقط من حموض الفالين والتيروزين والميتيونين والسيستئين ويتميز عن الكازئين بزيادة كبيرة في تركيز عدد محدود من الحموض الأمينية.

وهكذا فالبروتينات الطبيعية تختلف بقيمتها الغذائية و من الضروري لتامين متطلبات الجسم البنيوية الحصول على كميات من مختلف انواع البروتينات الغذائية. ومن الواضح أنه كلما اقترت تركيب الحمض أميني لأي بروتين من التركيب الحمض أميني لجسم الانسان فان قيمته الغذائية تكون اكبر ٠

كما تجب الإشارة هنا ايضا إلى أن درجة الاستفادة من أي بروتين تتعلق بدرجة حلمته وتفككه بواسطة الإنزيمات الهاضمة في جهاذ الهضم. فالصوف والشعر مثل لا يصلحان ماده غذائية على الرغم من اقتراب تركيبهما الحمض أميني من تركيب بروتينات الانسان، يعود سبب ذلك لان هذه البروتينات لا تتحلمه (لاتتفكك) الأنزيمات الموجودة في جسم الانسان وغالبية الحيوانات٠

يدخل في مفهوم القيمة الغذائية للبروتينات الحموض الأمينية "غير المعوضة " أو الحموض الأمينية "الأساسية essential والتي تسمى ايضا الحموض الأمينية "الضرورية"

فأجسام الكائنات الحيه تختلف فيما بينها بقدرتها على اصطناع مختلف الحموض الأمينية من طلائع غير بروتينيه وبشكل الازوت التي تستخدمه في اصطناع هذه الحموض فالنباتات العليا قادرة على اصطناع جميع الحموض الأمينية اللازمة والضرورية لاصطناع البروتينات عندها. وهي في ذلك تستخدم آزوت النترات او الأمونيوم، أما الأحياء الدقيقة فهي تختلف في ما بينها كثيره في إمكانيه الحموض اصطناع الحموض الأمينية. بينما لا تستطيع الفقاريات العليا اصطناع جميع الحموض الأمينية اللازمة لها وكذلك الإنسان فإن جسمه قادر على اصطناع عشرة حموض أمينية فقط من أصل العشرين حمضا اللازمة لاصطناع

البروتينات، ويتم اصطناع هذه الحموض التي تسمى "الحموض الأمينية nonessintial" اعتبارا من نواتج استقلاب السكريات والشحوم، أما الحموض الأخرى والتي لايستطيع جسم الأنسان اصطناعها فهي الحموض "غير المعوضة" أو "الأساسية" أو " الضرورية ".

• **الحموض المعوضة**	• **الحموض غير المعوضة**
• الاسباراجين	• الأرجنين
• الألانين	• ايزو اللوسين
• البرولين	• التربتوفان
• التيروزين	• التريونين
• حمض الأسبارتيك	• الفالين
• حمض الغلوتاميك	• الفنيل ألانين
• السيرين	• اللوسين
• السيستئين	• الليزين
• الغلو تامين	• الميتيونين
• الغليسين	• الهستيدين

الحموض الأمينية المعوضة وغير المعوضة

ونظرا لان أنسجه جسم الانسان قادرة على إتمام تفاعلات نقل الزمن الآمينية إلى الحموض a–كيتونية بواسطة إنزيمات الترانس أميناز المتوفرة في هذه الأنسجة، فإن عجز جسم الانسان عن اصطناع هذه

الحموض ناتج عن عجزه عن اصطناع الهياكل الكربونية لها . ومن الضروري وصول هذه الحموض الى الجسم جاهزة عن طريق الغذاء حيث يسبب فقدان اي منها ظهور التوازن الآزوتي السالب.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن نقص في أي من الحموض الضرورية يؤدي إلى انخفاض الاستفادة من بقية الحموض رغم توفرها وذلك وفق مبدأ" الحد الأدنى" الذي يعتبر أن نمو وتطور الكائن الحي يتحدد بالحد الأدنى لأي مادة "غير معوضة" تصل إلى الجسم مع الغذاء.

وبالنسبة للإنسان تكون بروتينات اللحوم والحليب والبيض ذات قيمه غذائية عالية لأنها تقترب في تركيبها الحمض أميني من التركيب الحمض أميني لجسم الانسان. ولكن هذا لا يقلل ابدا من قيمة وأهمية البروتينات النباتية التي تحتوي ايضا على جميع الحموض الأمينية الضرورية ولكن بنسب تختلف عن البروتينات الحيوانية. ولهذا يجب لتأمين جميع احتياجات الجسم من الحموض الأمينية تناول انواع متعددة من البروتينات النباتية.

الاحتياطي البروتيني في الجسم

يفهم بمصطلح البروتينات الاحتياطية تلم البروتينات سريعة التجدد والاستهلاك عند نشوء الحاجه اليها في مختلف في النسج، فهي نتيجة تفككها بواسطه انزيمات البروتياز المختلفة تمد هذه النسج بالحموض الأمينية اللازمة لاصطناع الإنزيمات والهرمونات وغيرها من المركبات الضرورية جدا.

وقد دلت التجارب على أنه عند التعرض للجوع او الإصابة بالأمراض الشديدة يلاحظ تغير غير متوازن في كتله الاعضاء والنسيج, فينخفض وزن الكبد والعضلات دون تغيير في وزن الدماغ والقلب وهنا يبدو وكأن الجسم يضحي ببروتينات الكبد والعضلات لتأمين الفعالية الوظيفية للأعضاء الاكثر ضرورة لظاهرة الحياة وعلى اساس هذه المعطيات أصبح من المفترض أن بروتينات كل من الكبد والعضلات والدم تلعب دور البروتينات الاحتياطية على الرغم من الاختلاف الكبير في طبيعة هذا الاحتياطي عن احتياطي في كل من الكربوهيدرات والشحوم في الجسم.

هضم البروتينات

إن المصدر الرئيس للبروتينات عند الانسان هو الأغذية النباتية والحيوانية، حيث تصل نسبة هذه البروتينات في مختلف المشتقات الغذائية 35% من وزنها ومن الملاحظ أن المشتقات الحيوانية أغنى بالبروتينات من المشتقات النباتية (عدا البقوليات) :

ان بروتينات الكائنات الحية، ومنها الانسان ذات تخصص بنيوي ونسيجي عال جدا وبالتالي لا يمكن الاستفادة من البروتينات ذات المنشأ الخارجي إلا بعد ان تفقد تخصصها البنيوي والوظيفي, ويتحقق ذلك بعملية هضم الطعام في الجهاز الهضمي إلى حموض امينية حرة ,والتي ليس لها تخصص تجاه الأجسام المختلفة، ثم الاستفادة من هذه الحموض في اصطناع البروتينات النوعية المتخصصة.

المصدر	النسبة%	المصدر	النسبة%
اللحوم	22.18	الخبز	٧.٨
الأسماك	22.17	الرز	٨
الأجبان	٣٦.٢٠	الحمض	٢٦
البيض	١٣	فول الصويا	٣٥
		البطاطا	٢ -١.٥

محتوى بعض الأغذية الحيوانية والنباتية من البروتينات

وتتخلص جميع مراحل هضم البروتينات في المعدة والامعاء الدقيقة بتفككها المتدرج تحت تأثير إنزيمات البروتياز المختلفة التي تنتمي جميعها إلى صف إنزيمات الحلمهة hydrolaseحيث تفقد هذه البروتينات تخصصها النوعي والنسيجي السابق وتكسب نواتج الحلمهة إمكانيه العبور عبر الأغشية الخلوية في الامعاء.

هذا وقد ثبت ان 95 – 96 % من بروتينات الغذاء يتم امتصاصها على شكل حموض أمينيه حره وبالتالي فان إنزيمات جهاز الهضم تقوم بشكل تدريجي وانتقائي بتفكيك الروابط في الجزئيات البروتينية حتى الوصول

إلى مرحله الحموض الأمينية ويتم ذلك بإضافة ماء الى الرابطة الببتيدية مع تحرير الزمرة الكربوكسيلية والزمرة الأمينية اللتان تشكلانها .

يترافق التفاعل المذكور بتناقص في الطاقة الحرة يساوي 16.8 كيلو جول ، ولهذا فيكفي من حيث المبدأ النظري وجود نوع واحد من إنزيمات البروتياز ليقوم بحلمهة الروابط الببتيدية في كامل الجزئية البروتينية، ولكن الواقع يختلف كثيرا عن ذلك فهو اكثر تعقيدا وذلك لأن إنزيمات تفكيك البروتينات متخصصة تجاه عدة أمور، فهي تتأثر بطول السلسلة البروتينية وبمكان التفكيك في السلسلة وبطبيعة الجذر الجانبي للحمض الأميني المساهم في تشكيل الرابطة المتفككة.

بعد ان يتم تقطيع الطعام الحاوي على البروتينات وترتطيبه باللعاب، يتم مزجه مع حمض كلور الماء في المعدة فيتعرض لفقدان البنيه الطبيعية Denaturation .

يبدأهضم البروتينات في المعدة في شروط حمضية، ويستمر في الامعاء بشروط اكثر قلوية.

-إنزيمات هضم البروتينات

*من إنزيمات العصارة المعدية: الببسين pepsin، الرنين renine، الغاستريكسين

*من إنزيمات العصارة البنكرياسية: التربسين، الكيموتربسين، الكولاجيناز، الكربوكسي ببتيداز ، الإلاستاز.

*من إنزيمات العصارة المعوية: الأمينوببتيداز، اللوسين، أمينو ببتيداز، الألانين أمينو ببتيداز، الانتروكيناز، ثلاثي الببتيداز، ثنائي الببتيداز ،البروليناز ، البروليداز.

تقسم جميع إنزيمات حلمهة البروتينات السابقة إلى نوعين رئيسين:

الببتيداز الخارجية exopeptidase ، وهي التي تسهم بتفكيك الروابط الببتيدية الطرفية وتحرر حمضا أمينيا طرفي التوضع في السلسلة المتفاعلة.

الببتيداز الخارجية endopeptidase ,وهي التي تفكك انتقائيا الروابط الببتيديه ضمن السلسلة متعددة الببتيد المتفاعلة بالإضافة إلى أنها وحسب بنيه الجذر الجانبي في الحمض الأميني، تقوم بحلمهة بعض الروابط الطرفية. ونظرا لأن الببتيداز الداخلية ذات تخصص يحدده بنية الجذر للحمض الأميني المساهم

بتشكيل الرابطة المتفككة، فإن الجزئية البروتينية المتفككة تتعرض لتأثير مجموعة من هذه الأنزيمات التي تتفكها إلى ببتيدات ذات عدد محدود من الحموض الأمينية والتي يمكن فصلها عن بعض بالرحلان الكهربائي.

أنزيمات الببتيداز الداخلية

1- الببسين:

تفرز خلايا الغشاء المخاطي في المعدة إنزيم الببسين على شكل طليعة غير فعالة حيث الببسينووجين وزنه الجزيئي 40.4 الف. ويتم إفراز هذه الطليعة نتيجة حثها بواسطة المؤشرات العصبية وغيرها من المؤثرات. وعندما يتعرض البيسينوجين للوسط الحمضي في العصارة المعدية يبدأ بالتحول إلى أنزيم فعال(وزنه الجزيئي ٣٢.٧ألف) بتنشيط ذاتي بطئ ، وذلك بفصم سلسلة ببتيدية من النهاية . N في الزيموجين ، مكونة من٤٢ حمضا أمينيا على شكل خمسة ببتيدات معتدلة وببتيد سادس قلوي يلعب دور المثبط لإنزيم الببسين. وينشط تفاعل الحلمهة هذا بواسطة جزئية أخرى من الببسينوجين والتي لها فعالية محدودة في الشروط الحمضية.

إذ تزداد وتيرة تنشيط الببسينوجين مع الزمن بازدياد فعالية الشكل الفعال من الإنزيم والذي ينشط المزيد من جزئيات الببسينوجين.

لببسين pH مثلى لفعاليته قريبة من ٢ . أن النقطة الوسطى من الشكل الجرسي لمعدلpHتتزامن في المكان والزمان مع قيمةpka المساوية للقيمتين1و4,5, وتتناسب هذه القيم مع بقيتين مهمتين فعالتين هما: Asp-32 والذي يكون عادة حمضيا Asp-215 .

تبين الدراسات أن جزيء الببسين تتألف من سلسلتين بروتينية واحدة تحتوي على عدد قليل من المناطق - aالحلزونية بالرغم من ان بنيتها متكتلة بشدة.

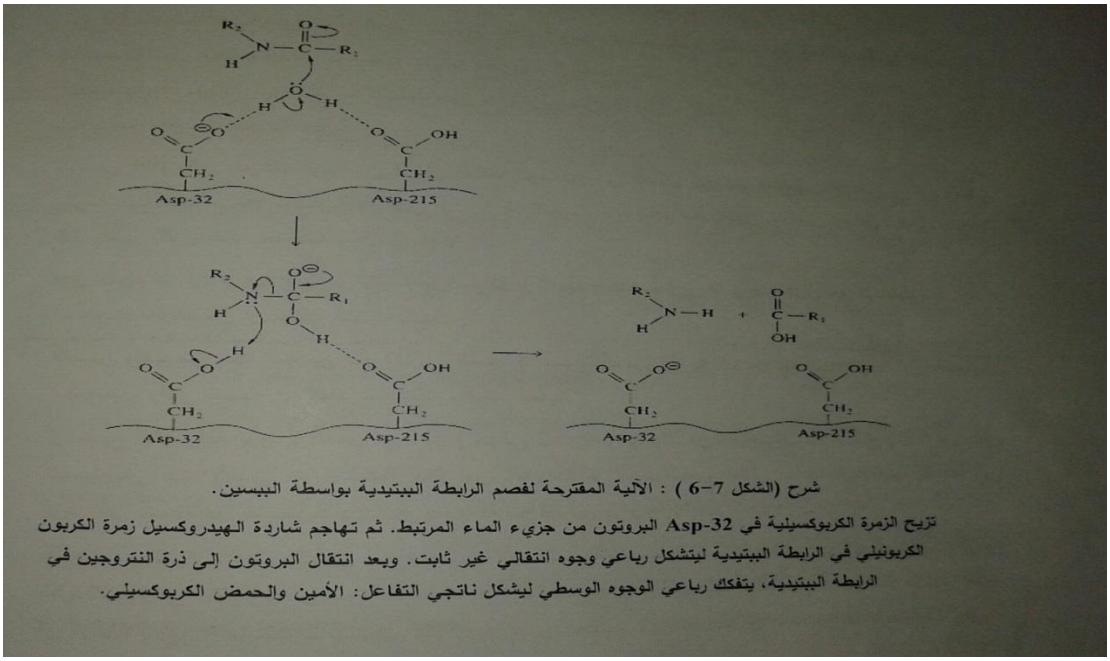
الببسين واحد من مجموعة من البروتيآز . المسماة"اسبارتيك بروتيآز aspartic proteases " أو البروتيآز الحمضية ، والتي تتشابه في مراكزها الفعالة وآليات عملها.

إن جميع الاسبارتيك بروتيآز تعمل pH (حوالي ٢-٤). وهناك من المعطيات ما يسمح بالافتراض بأن الببسينوجين عند الإنسان يتحول ليشكل أكثر من نوع واحد من إنزيم الببسين والتي تتشابه فيما بينها إضافة إلى إنزيم آخر مشابه هو الغاستريكسين الذي يملك فعالية قصوى pH=3.

يفترض في المركز الفعال للببسين إسهام جذور الأسبارتيك بتشكيل مركبات تكافئية بلا ماء حمضية بين الزمرة الكربوكسيلية في الاسبارتيك والزمرة الكربونيلية في الرابطة الببتيدية المعرضة للانقسام، ومع ذلك لم يتم تحديد أي مركب إنزيم–سوبسترات وسطي تكافؤي. وبين العديد من التجارب أن أليات التفاعل تشمل تنشيط حمضي أساسي.

ينضم جزيء الماء الى المركز الفعال برابطة هيدروجينية مع السلسلة الجانبية لحمض الأسبارتيك وبقية الاسبارتات . وتعمل الاسبارتات. تعمل الاسبارتات المشحونة منشطا اساسيا يزيح بروتونا من جزيء الماء. يقود هذا إلى تشكل مركب وسطي غير ثابت ،والذي يتفكك إلى مركب أميني وأخر كربوكسيلي.

يبدي الببسين طيفا واسعا من التخصص في الفعالية التنشيطية، فهو يفكك الروابط الببتيدية التي تسهم في تشكيلها الزمر الأمينية في كل من اللوسين والتربتوفان الانين والتيروزين، ولكن فعاليته تكون محدودة بالنسبة للروابط الببتيدية الأخرى كما يعتبر الكولاجين و هو البروتين الذي يوجد بكميات كبيرة في اللحوم ،سوبستراتا جيدا بالنسبة للببسين.



شرح (الشكل 7–6) : الآلية المقترحة لفصم الرابطة الببتيدية بواسطة الببسين.

تزيح الزمرة الكربوكسيلية في Asp-32 البروتون من جزيء الماء المرتبط. ثم تهاجم شاردة الهيدروكسيل زمرة الكربون الكربونيلي في الرابطة الببتيدية ليتشكل رباعي وجوه انتقالي غير ثابت. وبعد انتقال البروتون إلى ذرة النتروجين في الرابطة الببتيدية، يتفكك رباعي الوجوه الوسطي ليشكل ناتجي التفاعل: الأمين والحمض الكربوكسيلي.

٢-الرنين

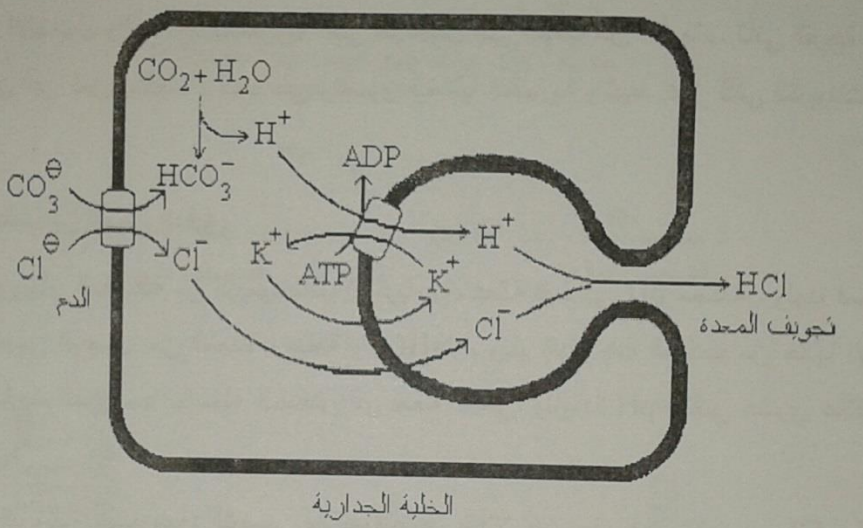
عثر على هذا الإنزيم في معده المجترات وعند الأطفال الرضع، وهو يختلف في آلية عمله وتخصصه بشدة على الببسين ولكنه قريب منه بنيويا وتتألف جزيئته من سلسلة بروتينية واحده وزنها ٤٠ ألفا و نقطة تعادله الكهربائي (Pl=4.5).

تزيح الزمرة الكربوكسيلية في Asp-32 البرتون من جزيء الماء المرتبط. ثم تهاجم شاردة الهيدروكسيل زمرة الكربون الكربونيلي في الرابطة الببتيدية ليتشكل رباعي وجوه انتقالي غير ثابت. وبعد انتقال البروتون إلى ذرة النتروجين في الرابطة الببتيدية، يتفكك رباعي الوجوه الوسطي ليشكل ناتجي التفاعل :الأمين والحمض الكربوكسيلي .

- العصارة المعدية Gastric juice

عندما يتم تحفيز الخلايا الجدارية الإفرازية في المعدة ،تقوم هذه الخلايا بإفراز العصارة المعدية وهي محلول مائي يحوي المخاط ومولد إنزيم البسين(الببسينوجين) ، والشوادر المعدنية ، ومحلول 0.15 Mمن HC، ويتم ذلك ضمن قنال تؤدي إلى تجويف المعدة.

تسهم مجموعة من بروتينات النقل في تحرير حمض كلور الماء القوي ومنها$H^+ -k^+$ ATPase من النموذج P- وبروتين التبادل الشاردي الذي يبادل Cl^- خارج الخلوي مع HCO_3^- داخل الخلوي. إن عمل هذه النواقل يشبه عمل $Na^+ -k^+$ Atpase وبروتين التبادل الانيوني في الكريات الحمراء (على التوالي)



شرح الشكل(7-7) : إنتاج HCl بواسطة الخلايا الجدارية .

يتم اصطناع H^+ و HCO_3^- بدءاً منCO_2 و H_2O داخل الخلية.

يتم انتقال HCO_3^- إلى بلازما الدم بالتبادل مع Cl^- .

يكون كل من K^+ و Cl^- كلاهما بتركيز مرتفع في الخلايا الجدارية ويدخلان إلى تجويف المعدة.

يتم انتقال K^+عائدا إلى الخلية بالتبادل مع H^+ بتفاعل نقل يعتمد على ATP.

تكون خلاصة تفاعل نقل الشوارد النهائي هو تحرير HCl إلى تجويف المعدة.

تكون الخلايا الجدارية غنية بالميتكوندري التي تولد الطاقة و CO2 اللازم لإفراز HCl.

يمكن تنشيط إنزيم Atpase $H^+ - k^+$ بواسطة الأستيل كولين والغاسترين والهستامين، وهكذا يبدأ إفراز Hcl من الخلايا الجدارية للمعدة. يتم تحرير المنبه العصبي –الإستيل كولين عند تنبيه العصب المبهم vagus (العصب الرئوي المعدي) بوساطة النظر أو الرائحة او التفكير بالطعام. يحث الاستيل كولين إفراز العصارة المعدية والحاوية على جميع المركبات المنحلة فيها.

تكون أنسجة المعدة مقاومة لحمض كلور الماء المفروز مع العصارة المعدية حيث تعطي طبقة من المركبات المخاطية muces(وهو سائل لزج من الماء والموسين ويحوي ثاني الكربونات المفروزة لتعديل Hcl) الخلايا المطبنة للمعدة وتحصنها تجاه التعرض لهجوم H^+

تغطي المادة المخاطية أيضا معظم السطوح الأخرى لجهاز الهضم. ولكن الحموضة الشديدة في المعدة يمكن أن تسبب أو تثير القرحة الهضمية ،والتي هي عبارة عن شقوق في النسيج المعدي. هذا وتقترح

الأبحاث مؤخرا أن القرحة يمكن أن تتشكل عند الأصابة المزمنة ببكتيريا Helicobacter pylori . تنمو هذه البكتيريا بشدة في الأوساط المغذية المخاطية ويؤدي تنبيه نظام المناعة في النسيج المضيف إلى التهاب وتضرر النسج المجاورة.

وقد تبين مؤخرا أنه يمكن استخدام المضادات الحيوية لمنع العدوى البكتيرية والإصابة بالالتهابات المزمنة المسببة للقرحة. يمكن للجدار المعدي أن يتضرر أيضا عند التعرض لتأثير استيل حمض الساليسيليك (الأسبرين) والإيتانول والأملاح الصفراوية التي قد تصل إلى المعدة من الأمعاء .تأتي القرحة الدوائية التي يسببها الأسبرين عن تمزيق الغشاء المخاطي وتضرر الخلايا الظهارية وتثبيط إفراز ثاني الكربونات.

- الهضم في المعي الدقيق

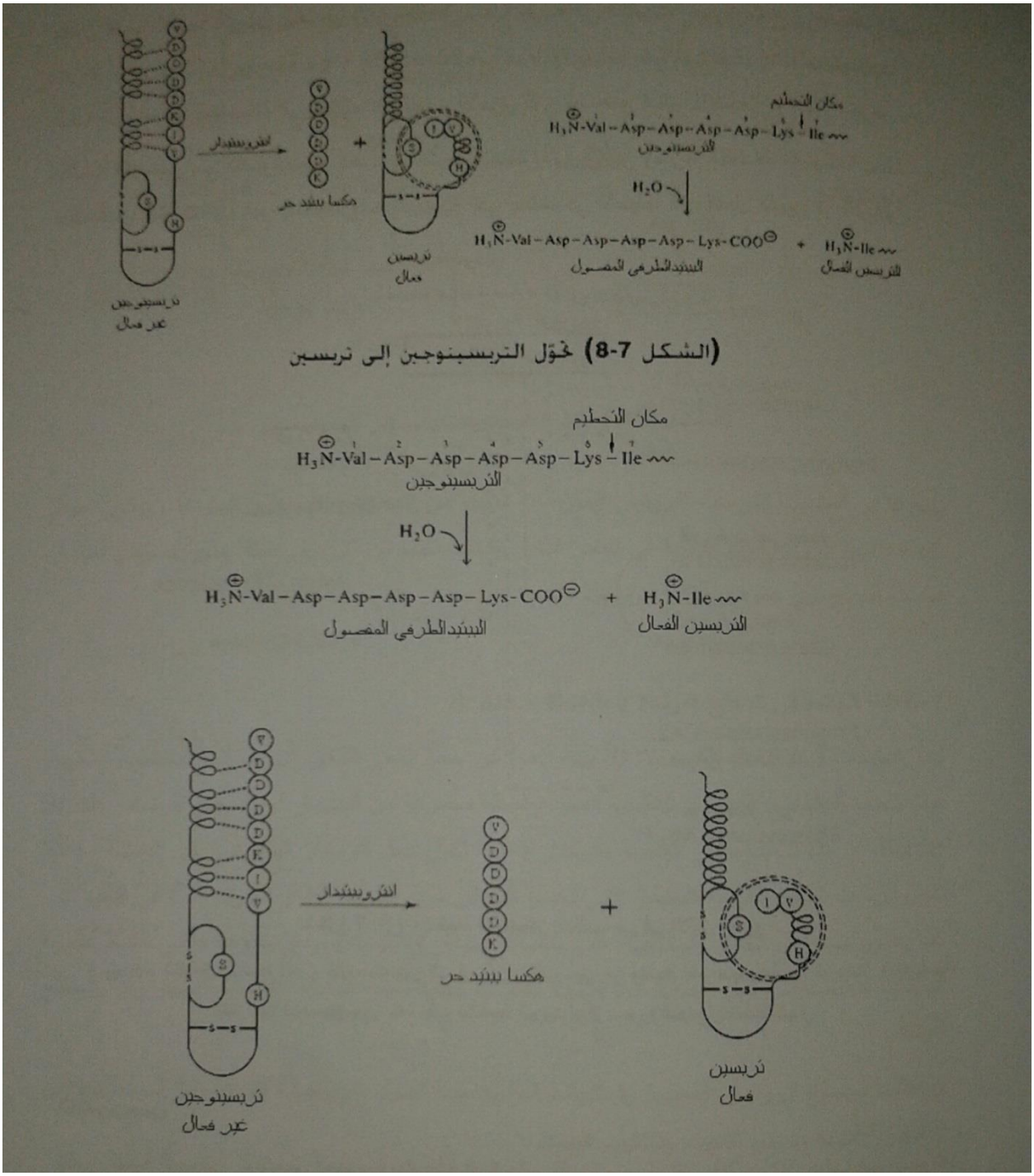
تكون جميع البروتيآز المتشكلة من الزيموجينات البنكرياسية، فعالة فقط في pHمعتدلة. ولهذا فمن الضروري أن يعتدل الكيموس الواصل من المعدة بواسطة $NaHCo^3$ ويتم إفراز هذا المركب من خلايا الإثني عشري علاقة مع تثبيط الببسين المعدي.

بالإضافة إلى البروتيآز السيرينية: التربسين والكيموتربسين والإلاستاز، يتم إفراز اثنين من الكربوكسي ببتيداز من قبل البنكرياس في الاثني عشري، وهذان الببتيدازان الخارجيان هما من الأنزيمات المعدنية الحاوية على الزنك وينشطان حلمهة الببتيد الطرفي C- في السوبسترات البروتيني. يختص كل من هذين الكربوكسي ببتيدين برابطة ببتيدية مختلفة.

التربسين

استحصل كل من التربسينوجين والتربسين من مصادر مختلفة ودرست بنيتهما الأولية،وتم التأكيد من آلية تحول الشكل الاول الى الثاني، والذي يتم بإسهام انزيمي البروتيآز الداخلية enteropeptidase(التسمية السابقة له انتروكيناز enterorinase) والذي يتم تنشيطه بواسطة الأملاح الصفراوية. كما يقوم التربسين بتنشيط تفكيك الروابط الببتيدية في النهاية الكربوكسيلية لليزين والأرجينين. ولهذا يكون هذا الإنزيم متخصصا

بتنشيط التحطيم الإنتقائي للرابطة في الموقع(7)Ile–(6)Lys عند التربسينوجين والمؤدية لتشكل التربسين الفعال.



(الشكل 7-8) تحوّل التربسينوجين إلى تربسين

وبعد إزاحة سداسي الببتيد من الطرف N– وتنشيط التربسين ، يقوم هذا الأخير بتفعيل الزيموجينات الأخرى في البنكرياس بما فيها تربسينوجين إضافة (الشك–٧–٩).تسهم شوادر بدور منشط لهذا التحول وعلى الرغم

من بساطة التغير الكيميائي ظاهريا فإن ذلك يترافق بتغير جذري كبير في البنية الثالثية للإنزيم حيث يأخذ المركز الفعال فيه شكله النهائي.

يعتبر تفاعل تنشيط التربسين بواسطه الانتروبيتيداز مرحله رئيسة في التنشيط .ومن الواضح ان اصطناع إنزيمات االبروتيآز ذو دلاله فيزيولوجيه مهمه اذ لو اصطنعت هذه الإنزيمات بشكلها الفعال اذا لقامت بتفكيك أنسجه الغده التي تفرزها بالإضافة الى تفكيك الإنزيمات الأخرى التي تصطنع هناك كالأميلاز والليباز و غيرها. يتشابه التربسين مع الكيموتربسين بعدة صفات كالتنشيط وآلية التأثيروسرعة الاصطناع ،ولكنه يختلف عنه بتخصص أكثر تحديدا فهو يفكك الروابط الببتيدية التي يساهم في تشكيلها كبروكسيل الليزين أو الأرجنين.

الكيموتربسين

تكون كميه البروتين الإنزيمي المفروزة بواسطة البنكرياس كبيرة وتصل الى ٢٠ –30 غراما في اليوم عند الإنسان البالغ الصحيح. كما يتم هضم هذه الإنزيمات المفروزة بعد انجازها الغرض المنشود من إفرادها و يتم امتصاص الحموض الأمينية بواسطه الجسم لإعادة استخدامها. ومصدر أخر لبروتين داخلي مهضوم هو الخلايا المخاطية الميتة إن هذه الخلايا سريعة التجدد بمعدل حوالي 30 غرام من البروتين يوميا .ونظرا لان كمية البروتين خارجي المنشأ والذي يتم هضمه يوميا تعادل ٧٠–١٠٠غرام، فإن كمية الحموض الأمينية التي تنتج عن إعادة استخدام بروتينان الإنزيمات والخلايا الميتة، تعتبر نسبة كبيرة لا يستهان بها .

ينتج التأثير المشترك لإنزيمات البروتياز البنكرياسية مزيجا من الحموض الأمينية والببتيدات، ويكون حوالي 60 70 % من المركبات الناتجة في المعي الدقيق ببتيدات من اثنين الى ستة جذور حموض أمينية أما بقيه النواتج هي أحماض أمينيه حرة.

7–6–4 الهضم في السطح الفرشاة: Brush–Broder

تمتز الببتيدات قليلة التعدد والحموض الأمينية الحرة من لمعة المعي الدقيق إلى الخلايا المخاطية المعوية، حيث تتلحمه الببتيدات الأكبر من ثلاثيات الببتيد بواسطة مجموعة الببتيداز في السطح الفرشاةBrush– Border إن هذه الأمينوببتيداز الغشوية والببتيداز الثنائية تكمل عمل الببدروتيآز

البنكرياسي في الفعالية. فمثلا تشمل إنزيمات السطح الفرشات الببتيداز التي تحمله البرولين من الطرف N– أو الطرف C– في الببتيدات.

كما يحتوي سيتوزول الخلايا المخاطية على ثنائيات ببتيداز و ثلاثيات ببتيداز متنوعه والتي تنشط حلمهة الببتيدات الممتصة من قبل الخلايا. تتم حلمهة ثلاثيات الببتيد نتيجة فعاليات الإنزيمات السيتوزلية والسطح الفرشاة.

أن فعالية مجموعه البروتياز المعدية والبنكرياسية والمخاطية تحول البروتينات المهضومة إلى مزيج من الحموض الأمينية وبعض ثنائيات وثلاثيات الببتيد.

البروتينات المثبطة للبروتيآز السيرينية

إن السمة العامة للبروتين صينيه هي إمكانيه تنظيم عملها بواسطة المثبطات البروتينية فمثلا يتم تعطيل تنشيط الزيم وجينات البنكرياسية بواسطة جزء "مثبط التربسين" يتم افراز هذا البروتين بواسطة الخلايا البنكرياسية كي تتم حمايه الخلايا من تدمير التي يمكن ان يحدث فيا لو أن جزئيا واحدا من التريسنوجين تنشطت قبل الأوان.

إن اهمية تفعيل الترسين ينتج ليس فقط عن فعاليتها في الحلمهة البروتينية، ولكن أيضا عن فعاليتها في الحلمهة البروتينية المنشطة للزيموجينات .

مثبط التربسين: هو بروتين صغير (M=6000) يرتبط لا تكافئيا ولكن بشدة كبيرة مع المركز الفعال للتربسين مشكلا معقد إنزيم. مثبط ذو بروتين تفكك M 10^{-13}

إن هذا الارتباط واحد من أكثر الروابط اللاتكافؤية المعروفة قوة بين الجزئيات البروتينية. إن المثبط البروتيني يشبه السوبسترات الإنزيمي للتربسين ويرتبط بواحد من جذور الليزين لديه مع المركز الفعال للتربسين. تغلق البنية الجزيئية للمثبط المركز الفعال للإنزيم بشكل تام وبحيث لا يمكن لجزيء ماء أن يدخل الشق في المركز الفعال لحلمهة المثبط. هناك مثبطات بروتيآزية صغيرة الوزن الجزيئي وكبيرته قد عثر عليها في

انسجة الثدييات . ويعتقد بأن هذه المثبطات تسهم بالحد من فعالية البروتيآز النشيطة في النسج ضمت شروط معينة كما في النسج النامية وترميم الجروح والإصابة بالعدوى.

الالاستاز Elastase

يفرزه البنكرياس على شكل طليعة غير فعالة proelastaseتتحول في الأمعاء بتأثير التربسين إلى الشكل الفعال. يقوم إنزيم الالإستاز بتفكيك بروتين الإستين الموجودة في النسج الضامة والغني بكل من حمضي الغليسين والألانين. يكون تخصص هذا الإنزيم ضعيفا تجاه السوبسترات الإنزيمي،فهو يفضل تفكيك الروابط التي تساهم بتشكيلها الحموض الأمينية ذات الجذور الجانبية الصغيرة والكارهة للماء وخاصة الغليسين والسيرين والألانين .

من الملاحظ ان كلا من التربسين والكيموتربسين يعجزان عن تنشيط تفكيك الروابط الببتيدية التي ينشطها الإلاستين بالرغم من التشابه البينيوي بين هذه الإنزيمات الثلاثة ، فهي جميعها تحتوي على مقاطع متشابهة في بنيتها الأولية وتتشابه فيما بينها في مواقع الجسور ثنائية الكبريت وتحتوي على السيرين المنشط في مراكزها الفعالة وقد أدت نتائج التجارب التي استخدمت فيها مثبطات الزمرةالهيدروكسيلية لسيرين المركز الفعال إلى ظهور فرضية تقول إن إنزيمات الببتيداز الداخلية التي يفرزها البنكرياس لهل نفس الطليعة. وإن تمايز هذه الإنزيمات يتحقق أثناء التنشيط باكتساب كل واحد منها بنية فراغية خاصة به.

إنزيمات الببتيداز الخارجية Exopeptidases

تسهم هذه الإنزيمات في هضم البروتينات او نواتج تفككها الجزئي في الامعاء الدقيقة .وهي تصطنع بشكل غير فعال– الكربوكسي ببتيداز في البنكرياس, والأمينوببتيداز في الغشاء المخاطي للأمعاء– وتتنشط بواسطه التربسين في الامعاء.

الكربوكسي ببتيداز :

هناك نوعان مدروسان لهذا الإنزيم هما الكربوكسي ببتيداز A– والكربوكسي ببتيداز B– وكلاهما ينتمي إلى البروتينان المعدنية. ويتم تنشيطهما بنزع الحمض الأميني الطرفي من النهاية C– لكل منهما.

يسهم الإنزيم الأول بتفكيك الرابطة الببتيدية في النهاية C– التي تسهم بتشكيلها الحموض الأمينية العطرية.

أما الإنزيم الثاني فيفكك الرابطة الببتيدية الطرفية في النهايةC–التي تسهم بتشكيلها كل من حمض الليزين أو حمض الأرجنين .

تملك مستحضرات الكربوكسي ببتيداز A– النقية فعالية وظيفية مزدوجة – فعالية الببتيداز وفعالية الاسترازر. يحتوي هذا الإنزيم على شاردة زنك واحدة في كل جزئية منه ،وعند استبدال الكالسيوم بالزنك في بنيته فإنه يفقد فعاليته كإنزيم ببتيداز وتزداد فعاليته الاسترازية وذلك دون حدوث أية تغيرات في البنية الثالثية له مما يشهد على حساسية فعالية هذا الإنزيم لأية تغيرات بنيوية في جزيئته مهما كانت طفيفة.

الأمينوببتيداز

عثر في العصارة المعوية على نوعين لهذا الإنزيم الأول منهما هو الألانين أمينو ببتيداز ويفكك بشكل تفضيلي الرابطة الببتيدية في الطرف N–والتي يسهم بتشكيلها الألانين. اما الإنزيم الثاني فهو اللوسن إمينو ببتيداز الذي ليس له تخصصات تجاه السوبسترات فهو يفكك الرابطة الببتيدية عند النهاية N– بغض النظر عن بنية الحمض الأميني الذي يساهم بتشكيلها.

وهكذا يقوم هذين الإنزيمين بتفكيك الحموض الأمينية بدءا من النهاية N– للسلسلة الببتيدية. يتنشط عمل هذان الإنزيمان في مستحضراتهما النقية بكل من شوادر المنغنيز أو المنغنزيوم.

انزيمات ثنائي الببتيداز Dipeptidaseوثلاثي Trioeptiadas

يتم تحويل الببتيدات الصغيرة في الأمعاء الدقيقة الى حموض أمينيه حرة بمساهمه إنزيمات ثنائي و(أو) ثلاث الببتيداز. من إنزيمات ثنائي البتيداز هناك غليسيل. غليسيل ثنائي الببتيداز ويقوم بتفكيك ثنائي الببتيد المذكور الى جزيئتي غليسين.

ويقوم إنزيم البروليناز بتفكيك الروابط الببتيدية التي يسهم في بتشكيلها البرولين . ويقوم إنزيم البروليناز بتفكيك ثنائي الببتيد الناتج عن ارتباط الآزوت في البرولين برابطة أميدية.حمضية. لإنزيمات البروتيآز وظائف أوسع بكثير من هضم البروتينات الموجودة في الطعام، فهي تسهم في التفاعلات ضمن الخلوية و وخارجها ولبعض انواعها دور وقائي في عمليه تخثر الدم و في نظام تحلل الخلايا ويسهم البعض منها في ظاهرة تجدد الهرمونات والتوكسينات و المركبات الفعالة في الأوعية vasoactive ويسهم بعضها ايضا في عمليه اصطناع الإنزيمات الهاضمة الاخرى وعدد من العضيات الخلوية و في ظاهرة التأثير المتبادل بين الخلايا وسطوحها الخارجية وفي تطور وتمايز الخلايا.

امتصاص الهكسوزات والحموض الأمينية الببتيدات بواسطة نواقل بروتينة خاصة:

هناك نواقل بروتينية غشائية متعددة مسؤولة عن انتقال المونوزات عبر الغشاء البلازمي للزغيبات المعوية. أحد هذه النواقل خاص بالغلوكوز والغالاكتوز، وآخر خاص بالفروكتوز. والغلوكوز وهو اكثر المونوزات انتشارا يتم امتصاصه بالتعاون cotransport مع شوارد Na^+ . وتتم عودة شوادر الصوديوم إلى لمعة الأمعاء بواسطة $Na^+ -k^+$ AtPase. وتترك المونوزات السطح المقابل للخلية بالانتقال السلبي وفق نظام الانتقال السكري وحيد الاتجاه (ويعزى أيضاً للنفوذ السهل) والذي يتم بتأثير منحني تركيز السكر تدخل السكاكر إلى تيار الدم وتجري مع تيار الدم الوريد البابي portal vein إلى الكبد.

لقد تم تحديد نظام الان لقد تم تحديد نظام الانتقال الى أكثر من نصف الحموض الأمينية. ففي معظمها يسهم الانتقال المترافق cotranspot بين الحمض الأميني وشوارد الصوديوم. إن هذا النواقل المتعددة تتخطى التخصص. فمثلا هناك على الاقل أربعة نواقل متخصصه بالحموض الأمينية المعتدلة. إضافة الى ذلك يتم امتصاص ثنائيات وثلاثيات الببتيد بأنظمة امتصاص متميزة عن تلك الخاصة بالحموض الأمينية. وبعد الامتصاص تتحمله معظم الببتيدات بتأثير من إنزيمات ثنائي وثلاثي البتيداز البلازمية.

تدخل الحموض الأمينية الحرة و ما تبقى من ببتيدات ثنائية وثلاثية إلى تيار الدم البابي بالعبور السلبي.

هناك بعض العاهات الوراثية التي تتعلق بامتصاص الحموض الأمينية، و في الأشخاص الذين يعانون من هذه الاختلالات فإن تركيز حموض أمينيه معينه سيرتفع في البول .إن الكثير من المركبات الصغيرة. بما فيها مركبات الغذاء او فضلات الاستقلاب، يتم ارتشاحها من الدم أثناء مرورها عبر الكليتين . ويتم استرداد بعض هذه المركبات الغذائية كالحموض الأمينية بواسطة فعالية عدد آليات النقل قبل ان يترك البول الكليتين. أما ناقل الحمض الأميني المتضرر، فهو لا يعمل اثناء كل من الامتصاص عبر الخلايا المخاطي (الظهارية mucosa) أو إعادة الامتزاز عبر الأقنية الكلوية.

تتعرض الببتيدات الصغيرة على الأغلب للحلمهة بعد امتصاصها. أما الببتيدات الكبيرة فهي لا تمتص إلا بعد تفككها وذلك لأنها غير قادرة على العبور بين طبقتي شحوم الأغشية. ولكن هناك بعض الاستثناءات في امتصاص عدد من الببتيدات إلى الدم مباشرة ومنها بعض التوكسينات النباتية كالأبراين والريسين . (الموجودان في بذور نباتي عين الديك والخروع)مثلا وكذلك توكسينات التسمم المنباري batulis والكوليرا cholera والدفتريا diphteria.