

Перетравлення білків - це ферментативний процес гідролізу, який відбувається за допомогою протеаз або пептидаз, які є підкласом гідролітичних ферментів, що атакують пептидні зв'язки.

Ці протеолітичні ферменти утворюються в неактивній формі (у вигляді проферментів або зимогенів) та активуються шляхом часткового протеолізу, тобто гідролізом одного пептидного зв'язку з подальшим відщепленням від проферменту інгібіторного *N*-кінцевого пептиду. Це супроводжується зміною конформації ферменту та розкриттям його активного центру. Активний фермент, що утворився внаслідок часткового протеолізу, може діяти на власний профермент, як на субстрат, та переводити його в активний стан, тобто здійснювати аутокаталіз.

Місце синтезу проферментів (слизова оболонка травного каналу й екзокринна частина підшлункової залози) і місце їх активації (порожнина шлунка, порожнина тонкої кишки) просторово відокремлені. Це необхідно для захисту секреторних клітин шлунка та підшлункової залози від аутоперетравлення. Передчасна активація проферментів у секреторних клітинах відбувається під час патологічних станів (виразковій хворобі шлунка, гострому панкреатиті).

У нормі в підшлунковій залозі не відбувається активація зимогенів завдяки наявності інгібітора трипсину, який утворює з ферментом дуже міцний комплекс. Внутрішні поверхні шлунка та кишечника вкриті муцинами – глікопротеїнами слизу. Муцини захищають епітелій шлунково-кишкового тракту від негативної дії протеолітичних ферментів.

Відповідно до місця дії на молекули субстрату протеолітичні ферменти розподіляють на екзопептидази та ендопептидази.

Протеази, або пептидази, які гідролізують пептидний зв'язок у кінцевій амінокислоті, називають *екзопептидазами*. До них належать *амінопептидази*, що відщеплюють останню амінокислоту з *N*-кінця білкової молекули, та *карбоксипептидази*, які гідролізують пептидний зв'язок з *C*-

кінця молекули білка, а також дії трипептидази, що розщеплюють дипептиди та трипептиди.

Пептидні зв'язки, що розташовані на відстані від кінців молекули білка, гідролізують *ендопептидази*: *пепсин*, *трипсин*, *хімотрипсини*, *еластаза*. Залежно від наявності в їх активних центрах амінокислот серину, цистеїну та інших, розрізняють серинові протеази, цистеїнові протеази та інші.

Обгорткові клітини слизової оболонки шлунка виробляють хлоридну кислоту, а головні клітини виробляють і секретують пепсиноген – попередник активного *пепсину*. Таким чином, шлунковий сік містить хлоридну кислоту і протеолітичні ферменти, які розщеплюють білки. Завдяки наявності хлоридної кислоти шлунковий сік має кислу реакцію. Загальна кількість шлункового соку, що виділяється за добу, становить у середньому 2,5 л.

Секреція обгорткових клітин стимулюється гістаміном і групою гормонів – гастринів, які виробляються слизовою пілоричної і фундальної ділянок шлунка. Хлоридна кислота виконує в процесі травлення ряд важливих функцій. Вона денатурує білки тих харчових продуктів, які не зазнали термічної обробки в процесі приготування їжі, а денатуровані білки швидше розщеплюються ферментами, ніж нативні; хлоридна кислота сприяє їх набухання, збільшуючи поверхню, а отже, площу контакту з ферментами. Це особливо характерно для білків шкіри, сухожиль сполучної тканини (колагену, еластину, кератину) й інших білків, які важко перетравлюються. Під впливом хлоридної кислоти пепсиноген (М.м. 40000) перетворюється в активний пепсин (М.м. 32700) унаслідок відщеплення N-кінцевого пептиду. Кисла реакція шлункового соку є оптимальною для виявлення каталітичної дії пепсину, оскільки у ферменті домінуючими є аніонні групи. І нарешті, хлоридна кислота має бактерицидні властивості, а також сприяє евакуації їжі зі шлунка.

Пепсин є ендопептидазою і швидко гідролізує в білках пептидні зв'язки, утворені карбоксильними групами ароматичних амінокислот (фенілаланіну,

тирозину), а також триптофану. Дещо повільніше пепсин гідролізує пептидні зв'язки, утворені іншими амінокислотами, наприклад, лейцином і дикарбоновими амінокислотами.

З огляду на те, що їжа у шлунку перебуває обмежений час, вважають, що *in vivo* пепсин гідролізує білки їжі в основному до суміші поліпептидів різного ступеня складності, які отримали назву пептонів.

Зі слизової шлунка людини, поряд із пепсином, був виділений ще один протеолітичний фермент – *гастриксин* або пепсин С.

Пепсин і гастриксин виявляють максимальну каталітичну активність за різних значень рН: пепсин – за рН = 1,5–2,0, а гастриксин – за рН = 3,0–5,0.

Співвідношення між гастриксином і пепсином у шлунковому соку здорової людини складає приблизно 1:5,5, але може змінюватися при патологічних станах.

Якщо ж секреція НСІ не забезпечує підтримання кислотності шлункового вмісту на рівні значень рН = 2–3, перетравлювання білків у шлунку може виявитись дуже незначним, наприклад, у разі перніціозної анемії. Під час шлунковій ахілії перетравлювання білків у шлунку взагалі не відбувається через відсутність як пепсину, так і кислоти.

У разі тривалого вживання рослинної їжі, небагатої на білки, виділяється відносно менше НСІ, підвищується значення рН у шлунковому соку, що створює сприятливіші умови для дії гастриксину, ніж пепсину. І навпаки, за умов багатої на білки їжі (м'ясні, рибні продукти, а також бобові) утворюється шлунковий сік із великим вмістом хлоридної кислоти і, отже, з нижчим значенням рН, що сприяє прояву дії пепсину.

У жуйних тварин згортання молока відбувається в результаті дії специфічного ферменту *хімозину*, який знаходиться в сичузі (четвертому шлуночку) молочних телят. Хімозин, або сичужний фермент, є досить активним у дітей. Він каталізує відщеплення пептиду від білка молока казеїногену, перетворюючи його в казеїн. Останній, взаємодіючи з солями кальцію, котрі завжди присутні у молоці, утворює слабкорозчинний казеїнат

кальцію (сир). Сир досить довгий час затримується у шлунку, що сприяє його більш повному розщепленню пепсином.

Вміст шлунка надходить у дванадцятипалу кишку та інші відділи тонкого кишечника, де на нього діє комплекс протеолітичних ферментів, які синтезуються у підшлунковій залозі і слизовій оболонці тонкого кишечника. Підшлункова залоза синтезує і секретує лужну рідину, що містить неактивні попередники протеаз, а саме *трипсиноген*, три *хімотрипсиногени*, *прокарбоксипептидази А і В* і *проеластазу*. Під впливом ферменту кишечника *ентеропептидази* трипсиноген специфічно і швидко перетворюється в активний трипсин. Швидкість активації трипсиногену під впливом ентеропептидази у 2000 разів вища, ніж швидкість аутокаталітичного перетворення під впливом трипсину. Трипсин, утворений з трипсиногену, є активатором інших неактивних проферментів (зимогенів), перетворюючи їх у відповідні активні форми.

Хімотрипсиногени внаслідок активації перетворюються в хімотрипсини.

Лужний панкреатичний сік нейтралізує кислий вміст, що надходить зі шлунка, і забезпечує слабколужне середовище, оптимальне для гідролітичної дії панкреатичних ферментів, кожен з яких має свою специфічність. *Трипсин* гідролізує пептидні зв'язки, утворені карбоксильними групами аргініну і лізину. *Хімотрипсини* найбільш активні стосовно пептидних зв'язків, утворених карбоксильними групами фенілаланіну, тирозину і триптофану. Таким чином, ці ферменти здійснюють більш глибокий гідроліз білків, у порівнянні з гідролізом у шлунку, до невеликих пептидів. *Карбоксипептидаза А* (цинковмісний фермент) швидко відщеплює С-кінцеві амінокислотні залишки з ароматичними або аліфатичними боковими ланцюгами.

*Карбоксипептидаза В* діє тільки на пептиди, що мають на С-кінці залишки аргініну або лізину.

Слизова оболонка кишечника також містить ферменти, які гідролізують пептидні зв'язки. Хоча ці ферменти можуть секретуватися в кишковий сік, вони функціонують переважно внутрішньоклітинно.

Екстракти слизової кишечника містять групу ферментів – *амінопептидаз*. Ці ферменти під час дії на поліпептидні ланцюги по чергово звільняють N-кінцеві амінокислоти.

Слизова кишечника містить також *дипептидази*, наприклад активовану  $\text{Co}^{2+}$  або  $\text{Mn}^{2+}$  *гліцилгліцин-дипептидазу*, яка, разом з тим, не впливає на трипептид гліцилгліцилгліцин.

На завершальному етапі розщеплення білків важливу роль відіграють мікроелементи Zn, Mn, Mg, Co, підвищуючи активність пептидаз.

Перетравлювання білків, як і вуглеводів, відбувається не тільки в порожнині кишечника а й на поверхні клітин слизової оболонки – так зване контактне, або **пристінкове**, перетравлювання (між мікроворсинками). У порожнині шлунка і кишечника розщеплюються переважно білкові молекули й великі пептиди, а об'єктом пристінкового перетравлювання є олігопептиди і дипептиди.

У нормі весь процес перетравлювання білків у травному каналі триває в середньому 8–12 годин після вживання їжі. Цей час залежить від кулінарної обробки їжі, природи білка, динаміки секреції травних соків і, особливо, від активності ферментів. Краще перетравлюються білки таких продуктів, як молоко, м'ясо, сир. Погано перетравлюються і засвоюються такі білки м'яса, як кератин, колаген та деякі інші білки сполучної тканини.