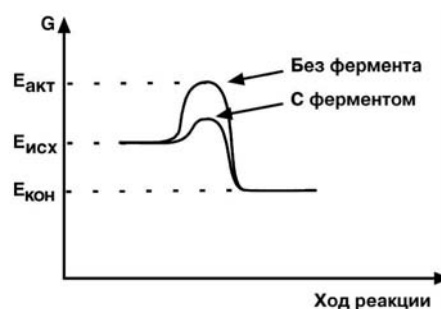


ФЕРМЕНТЫ

Основу всех жизненных процессов составляют тысячи химических реакций, катализируемых ферментами. Значение ферментов точно и образно определил И.П.Павлов, назвав их «возбудителями жизни». Нарушения в работе ферментов приводит к возникновению заболеваний, многие из которых приводят к смерти (фенилкетонурия, гликогенозы, галактоземия, тирозинемия) или существенному снижению качества жизни (дислиппротеинемии, гемофилии).

По своей функции ферменты являются биологическими катализаторами. Известно, что для осуществления химической реакции необходимо, чтобы реагирующие вещества имели суммарную энергию выше, чем энергетический барьер реакции. Для этого можно либо увеличить энергию молекул, например нагреванием, облучением, повышением давления, либо снизить требуемые затраты энергии (энергетический барьер). Для характеристики величины энергетического барьера Аррениус ввел понятие **энергии активации**.



Сущность действия ферментов, так же, как неорганических катализаторов заключается:

- 1) в активации молекул реагирующих веществ
- 2) в разбиении реакции на несколько этапов, энергетический барьер каждого из которых ниже такового исходной реакции.

Н.В. Однако энергетически невозможные реакции ферменты катализировать не будут, они ускоряют только те реакции, которые могут идти самопроизвольно в данных условиях.

ЭТАПЫ ФЕРМЕНТАТИВНОГО КАТАЛИЗА

1. Присоединение субстрата к ферменту
2. Преобразование фермент-субстратного комплекса в один или несколько переходных комплексов в одну или несколько стадий.
3. Отделение конечных продуктов от фермента.



МЕХАНИЗМЫ КАТАЛИЗА

1. Кислотно-основной катализ – в активном центре фермента находятся группы специфических аминокислотных остатков, которые являются хорошими донорами или акцепторами протонов. Такие группы представляют собой мощные катализаторы многих органических реакций.

Доноры	Акцепторы
$-\text{COOH}$ $-\text{NH}_3^+$ $-\text{SH}$	$-\text{COO}^-$ $-\text{NH}_2$ $-\text{S}^-$

2. Ковалентный катализ – ферменты реагируют со своими субстратами, образуя очень нестабильные, ковалентно связанные, фермент-субстратные комплексы, из которых в ходе последовательных реакций образуются продукты.

СХОДСТВО И ОТЛИЧИЯ ФЕРМЕНТОВ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ КАТАЛИЗАТОРОВ

Сходство	Отличия
1) Катализируют только энергетически возможные реакции 2) Не изменяют направления реакции 3) Ускоряют наступление равновесия реакции, но не сдвигают его 4) Не расходуются в процессе реакции	1) Скорость ферментативной реакции намного выше 2) Высокая специфичность 3) Мягкие условия работы (внутриклеточные) 4) Возможность регулирования скорости реакции 5) Скорость ферментативной реакции пропорциональна количеству фермента

Дополнение

Ускорение реакций может быть весьма значительным:

Если скорость восстановления H_2O_2 без катализатора принять за единицу, то в присутствии платиновой черни скорость реакции увеличивается в 2×10^4 раза, а энергия активации снижается с 18 до 12 ккал/моль. В присутствии фермента каталазы скорость реакции возрастает в 2×10^{11} раза с энергией активации 2 ккал/моль.

СТРОЕНИЕ ФЕРМЕНТОВ

Давно выяснено, что все ферменты являются белками и обладают всеми свойствами белков. Подобно белкам они делятся на **простые** и **сложные**.

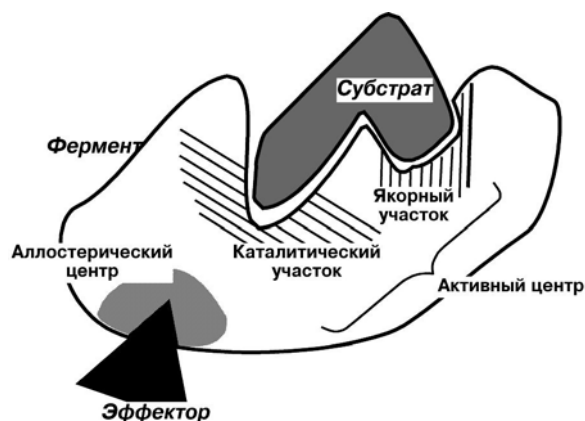
Простые состоят только из аминокислот – пепсин, трипсин, лизоцим.

Сложные ферменты имеют в своем составе белковую часть, состоящую из аминокислот – **апофермент**, и небелковую часть – **кофактор**. Кофактор может называться **коферментом**, если он легко отделяется от апофермента, или **простетической группой**, если он связан с белком прочно.

N.B. Для осуществления катализа необходим комплекс апофермента и кофактора, по отдельности они катализ осуществить не могут.

В составе апофермента выделяют несколько участков, выполняющих различную функцию.

1. **Активный центр** – комбинация аминокислотных остатков, обеспечивающая непосредственное связывание с молекулой субстрата и осуществляющая катализ. Аминокислотные ра-



дикалы в активном центре могут находиться в любом сочетании. При разворачивании пептидной цепи аминокислоты активного центра могут значительно удаляться друг от друга.

У сложных ферментов в активном центре обязательно расположены функциональные группы кофактора.

В свою очередь в активном центре выделяют два участка:

- **Якорный** (или контактный, или связывающий) – отвечает за связывание и ориентацию субстрата в активном центре
- **Каталитический** – отвечает непосредственно за осуществление реакции.

2. **Аллостерический** центр (allos - чужой) – регуляторный центр, пространственно отделен от активного, имеется не у всех ферментов и осуществляет регуляцию активности фермента. Связывание с ним какой-либо молекулы, называемой эффектором, модулятором, регулятором, активатором или ингибитором, вызывает изменение конфигурации белка и, как следствие, скорости ферментативной реакции. В качестве такого регулятора чаще всего выступает продукт данной реакции или одной из последующих реакции.

ПРИНЦИПЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ

1. Активность фермента выражается в скорости накопления продукта или скорости убыли субстрата в пересчете на количество материала, содержащего фермент.

$$\text{Активность фермента} = \frac{\text{Кол-во продукта или субстрата}}{\text{Единица времени} \times \text{Единица массы или объема пробы}}$$

*Например, известно, что 1 г пепсина расщепляет 50 кг яичного белка за один час. Таким образом, его активность составит 50 кг/час*г фермента.*

*При исследовании сыворотки крови установлено, что активность амилазы составила 30 мг/с*л. Это значит, что при добавлении 0,1 мл сыворотки к раствору крахмала за 15 мин (метод Каравея) расщепляется 2,7 мг крахмала.*

На занятиях в качественных реакциях активность амилазы можно исследовать и по количеству образованной глюкозы, при этом появляется красное окрашивание в реакции Фелинга.

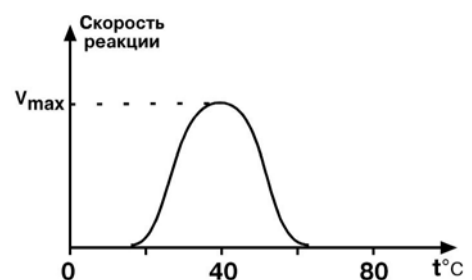
2. **Создание стандартных условий**, чтобы можно было сравнивать результаты полученные в разных лабораториях – $t=25^{\circ}\text{C}$ и оптимальная pH;

3. **Избыток субстрата**, чтобы работали все имеющиеся молекулы фермента;

СВОЙСТВА ФЕРМЕНТОВ

1. Зависимость от температуры

Закон о повышении скорости реакции в 2 раза при повышении температуры на 10°C справедлив и для ферментативных реакций, но только в пределах $55-60^{\circ}\text{C}$, т.е. в значениях для денатурации белков. Наряду с этим имеются ферменты некоторых микроорганизмов, которые существуют в воде горячих источников.



Ферменты могут быть очень чувствительны к изменению температуры:

– у сиамских кошек мордочка, кончики ушей, хвоста, лапок черного цвета. В этих областях температура всего на $0,5^{\circ}\text{C}$ ниже, чем в центральных областях тела. Но это позволяет работать ферменту, образующему пигмент в волосяных луковицах. При малейшем повышении температуры фермент инактивируется.

– обратный случай: при понижении температуры окружающего воздуха у зайца-беляка пигмент-образующий фермент инактивируется и заяц получает белую шубку.

– противовирусный белок интерферон начинает синтезироваться в клетках только при достижении температуры тела 38°C

При понижении температуры активность ферментов понижается, но не исчезает совсем. Примером может служить зимняя спячка некоторых животных (суслики, ежи), температура тела которых снижается до $3-5^{\circ}\text{C}$. Это свойство также используют в хирургической практике при проведении операций на грудной полости, когда больного подвергают охлаждению до 22°C .

2. Зависимость от pH.

Для каждого фермента существует определенный узкий интервал pH среды, который является оптимальным для проявления его высшей активности. Объясняется это наличием тех или иных аминокислот в структуре фермента, заряд которых изменяется при изменении pH. Изменение ионизации приводит к изменению конформации молекулы, и следовательно, субстрат не связывается с активным центром.



Дополнение

К примеру, оптимальные значения pH для пепсина 1,5-2,5, трипсина 8,0-8,5, амилазы слюны 6,8-7,4, аргиназы 9,8, кислой фосфатазы 4,5-5,0, сукцинатдегидрогеназы 9,0.

3. Зависимость от концентрации субстрата

Наблюдается эффект насыщения, т.е. состояние когда все молекулы фермента взаимодействуют с молекулами субстрата. При дальнейшем увеличении концентрации субстрата между ними возникает конкуренция за активный центр.



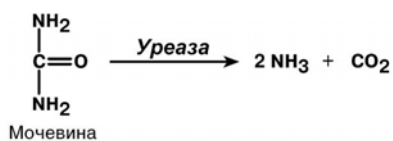
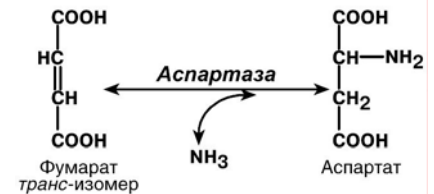
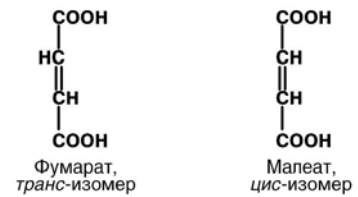
4. Зависимость от концентрации фермента

При увеличении количества молекул фермента скорость реакции возрастает непрерывно и прямо пропорционально количеству фермента

5. Специфичность

Основана на строгой комплементарности структуры субстрата и активного центра.

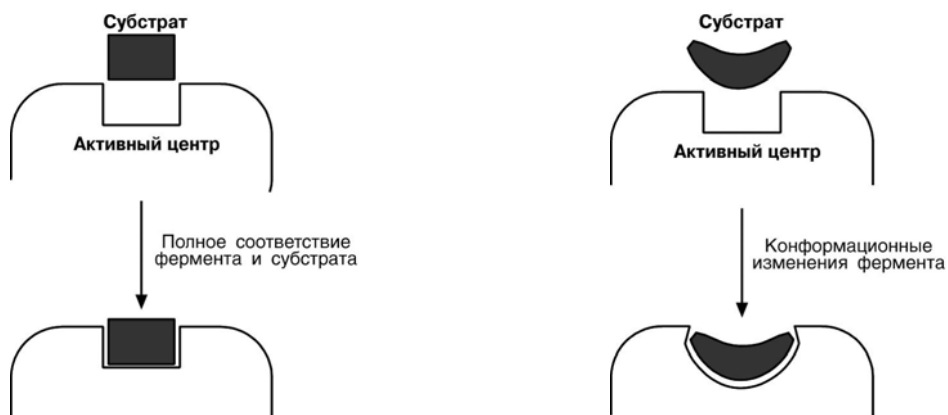
- **Стереоспецифичность** – катализ только одного из стереоизомеров (аспартаза):
 - специфичность к L- или D-аминокислотам,
 - специфичность к цис- и транс-изомерам.
- **Абсолютная специфичность** – катализ только одного вещества (уреаза):



- **Групповая специфичность** – субстраты с общими структурными особенностями, наличие определенной связи или химической группы:
 - наличие пептидной связи: 1) **пепсин** катализирует разрыв пептидной связи, образованной ароматическими аминокислотами, 2) бактериальный фермент **субтилизин** специфичен к пептидной связи независимо от строения образующих ее аминокислот, 3) **тромбин** расщепляет пептидную связь только между аргинином и глицином.
 - фосфоэфирная связь расщепляется **фосфатазой** независимо от веществ ее образующих.
 - **алкогольдегидрогеназа** окисляет до альдегидов одноатомные спирты (этанол, метанол, пропанол), т.е. она определяет одиночную OH-группу.
- **Относительная групповая специфичность** – превращение субстратов с некоторыми общими признаками: цитохром P_{450} окисляет только гидрофобные вещества, коих насчитывается около 7000.

Механизмы специфичности

В общем виде все сводится к комплементарному взаимодействию фермента и субстрата. При этом функциональные группы субстрата взаимодействуют с соответствующими им функциональными группами фермента.

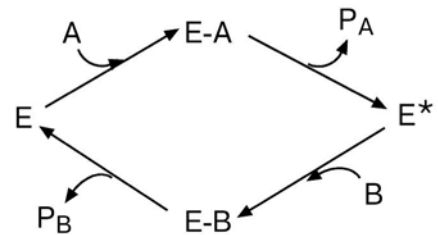


1. **Гипотеза Фишера** (модель «жесткой матрицы», «ключ-замок») – хорошо объясняет абсолютную специфичность, но не групповую.

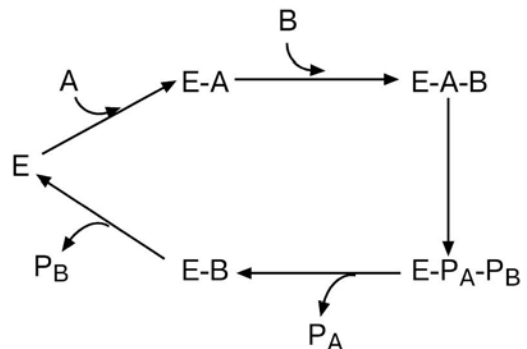
2. **Гипотеза Кошланда** (модель «индуцированного соответствия», «рука-перчатка») – подразумевает гибкость активного центра. Присоединение субстрата к якорному участку вызывает изменение конфигурации каталитического центра таким образом, чтобы его форма соответствовала форме субстрата.

ТИПЫ ФЕРМЕНТАТИВНЫХ РЕАКЦИЙ

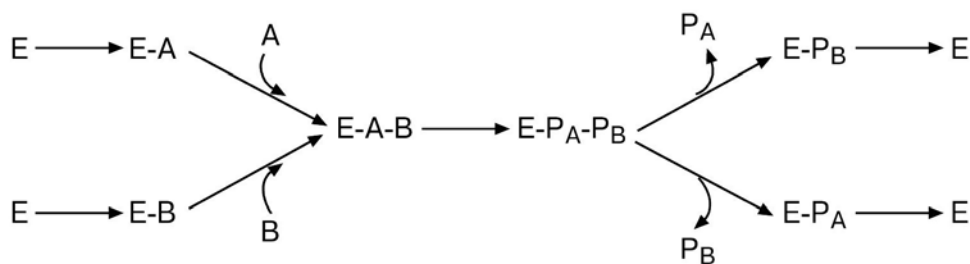
1. Тип «пинг-понг». Примером являются реакции трансаминирования.



2. Тип последовательных реакций



3. Тип случайных взаимодействий

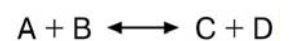


РЕГУЛЯЦИЯ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ

1. **Изменение количества фермента** – в результате увеличения или снижения синтеза:

- исчезновение **пищеварительных** ферментов при длительном голодании и их появление в восстановительный период,
- при беременности и родах в молочной железе активируется синтез фермента **лактозосинтазы**,
- этанол, барбитураты стимулируют синтез «своего» изофермента **цитохрома P450** в печени, который обезвреживает спирт.

2. **Изменение концентрации субстрата** (закон действия масс) – увеличение количества одного из субстратов сдвигает



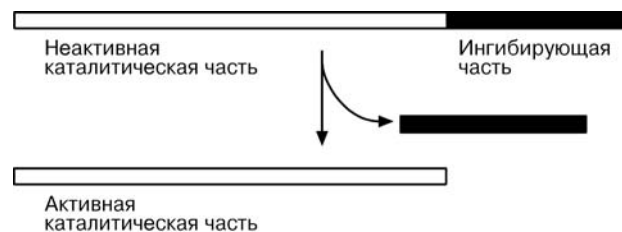
равновесие реакции и начинает реакцию.

Например, для цикла трикарбоновых кислот таким субстратом является оксалоацетат.

3. **Компартментализация** – сосредоточение ферментов и их субстратов в одном компартменте (одной органелле) – в эндоплазматическом ретикулуме, митохондриях, лизосомах.

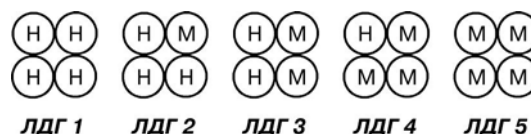
Например, β -окисление жирных кислот протекает в митохондриях, синтез белка – в рибосомах.

4. **Ограниченный протеолиз** проферментов – синтез ферментов осуществляется в виде предшественника (трипсиноген, пепсиноген, фибриноген), который при поступлении в нужное место активируется через отщепление от него одного или нескольких пептидных фрагментов.

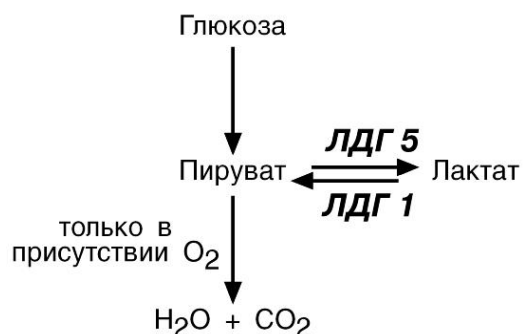


Секреция ряда ферментов за пределы клетки в неактивном состоянии позволяет предохранить клетки от повреждения (пищеварительные ферменты) или сохранить белок до наступления определенного момента (фибриноген).

5. Наличие **изоферментов**. Изоферменты – это молекулярные формы одного и того же фермента, возникшие в результате небольших генетических различий в первичной структуре фермента. Различные изоферменты определяют скорость и направление реакции благодаря разному сродству к субстрату.



Например, существует пять изоферментов лактатдегидрогеназы, фермента, участвующего в обмене глюкозы. **Лактатдегидрогеназа-1** присутствует в миокарде, обладает высоким сродством к молочной кислоте, **лактатдегидрогеназа-5** – находится в печени и скелетных мышцах, обладает низким сродством к лактату. Благодаря этому, в скелетных мышцах часть энергии, особенно в бескислородных условиях, образуется при превращении глюкозы через пируват в лактат. Миокард может использовать для получения энергии молочную кислоту, захватываемую из крови, но только в аэробных условиях.



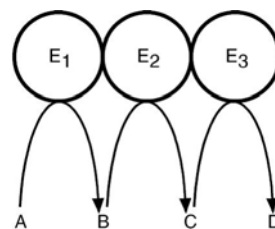
Дополнение

В отсутствие кислорода пирувиноградная кислота накапливается в сердечной мышце, т.к. в воду и углекислый газ превратиться не может, и лактатдегидрогеназа 1 не позволяет ей эффективно превращаться в лактат. В результате токсичный пируват начинает повреждать внутриклеточные структуры и сердечная клетка погибает, развивается инфаркт миокарда. В скелетном мышеч-

ном волокне при отсутствии кислорода пируват превращается в молочную кислоту, которая быстро выводится из клетки. Мышца, хоть и не в состоянии работать долго в таких условиях, сохраняет жизнеспособность.

6. Формирование **мультиферментных комплексов** – комплекс нескольких ферментов, осуществляющих ряд последовательных реакций. Благодаря таким комплексам значительно ускоряется скорость превращения молекул.

Например, **пируватдегидрогеназный** комплекс, **α -кетоглутаратдегидрогеназный** комплекс, комплекс под названием **пальмитатсинтаза**.

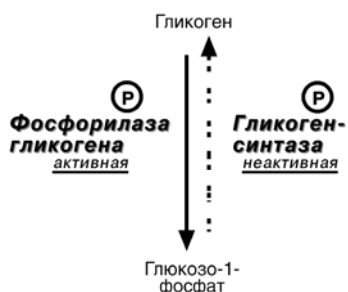


7. **Ковалентная (химическая) модификация** – обратимое присоединение или отщепление определенной группы, благодаря которому изменяется активность фермента. Чаще всего такой группой является фосфорная кислота, реже метильные и ацетильные группы. Фосфорилирование фермента происходит по остаткам серина, треонина, тирозина.



Разные ферменты могут быть активны как в фосфорилированном, так и в нефосфорилированном состоянии. Например, **гликогенфосфорилаза** и **гликогенсинтаза**.

ФИЗИЧЕСКАЯ РАБОТА



При мобилизации гликогена оба фермента фосфорилированы

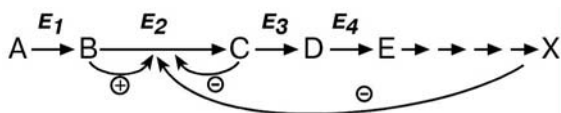
ОТДЫХ



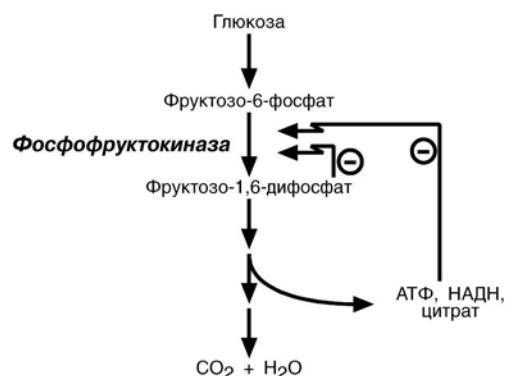
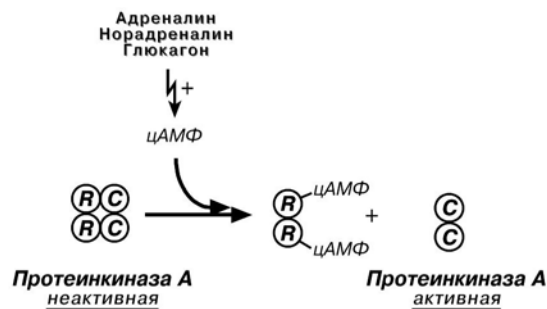
При синтезе гликогена все ферменты дефосфорилированы

8. Аллостерическая регуляция

Аллостерические ферменты построены из двух и более субъединиц: часть субъединиц формирует каталитический центр, другая часть является регуляторной. Присоединение эффектора к регуляторной части изменяет конформацию белка и активность каталитической субъединицы. В качестве эффектора обычно выступает продукт данной или последующих реакций, но может быть субстрат реакции или иное вещество (например, **цАМФ** для **протеинкиназы**). Аллостерическими ферментами часто являются ферменты, стоящие в начале метаболических путей и от их активности зависит течение многих последующих реакций.



Например, **фосфофруктокиназа** регулируется НАД, лимонной кислотой, АТФ, фруктозо-1,6-дифосфатом, АДФ, АМФ.



ИНГИБИРОВАНИЕ ФЕРМЕНТОВ

Ингибитор – это вещество, вызывающее специфичное снижение активности фермента. Таким образом, неорганические кислоты, тяжелые металлы ингибиторами не являются, а являются инактиваторами, т.к. неспецифично снижают активность ферментов.

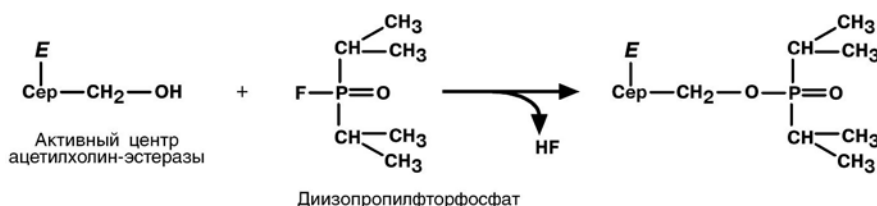
По прочности связывания фермента с ингибитором ингибирование бывает **обратимым** и **необратимым**.

По отношению ингибитора к активному центру фермента ингибирование делят на **конкурентное** и **неконкурентное**.

НЕОБРАТИМОЕ ИНГИБИРОВАНИЕ

При необратимом ингибировании происходит связывание или разрушение функциональных групп фермента, необходимых для проявления его активности.

Например: ингибирование ацетилхолинэстеразы в нервных синапсах предотвращает разрушение ацетилхолина в синаптической щели, в результате чего отсут-



ствует дальнейшая передача сигнала по нерву. Вещество диизопропилфторфосфат (ДФФ) прочно и необратимо связывается с гидроксигруппой серина в активном центре фермента. ДФФ относится к нервно-паралитическим ядам, на его основе был создан инсектицид «малатион», превращающийся в организме насекомых в ингибитор АХЭ, а в организме животных и человека разрушающийся до безвредных продуктов.

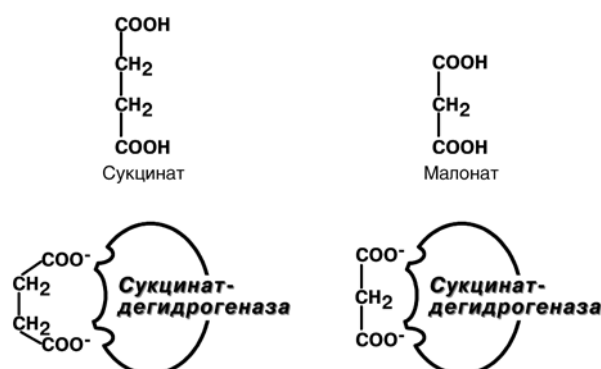
КОНКУРЕНТНОЕ ИНГИБИРОВАНИЕ

При таком виде ингибирования ингибитор по своей структуре похож на субстрат фермента. Поэтому он соперничает с субстратом за с активный центр, что приводит к уменьшению связывания субстрата с ферментом и нарушение его превращения. Особенностью конкурентного ингибирования является возможность усилить или ослабить ингибирование через изменение концентрации субстрата.

Например,

1. Конкурентное взаимодействие этанола и метанола за активный центр алкогольдегидрогеназы.

2. Ингибирование сукцинатдегидрогеназы малоновой кислотой, структура которой схожа со структурой субстрата этого фермента – янтарной кислоты.



НЕКОНКУРЕНТНОЕ ИНГИБИРОВАНИЕ

Данный вид ингибирования связан с присоединением ингибитора не в активном центре, а в другом месте молекулы.

Например, синильная кислота (цианиды) связывается с гемовым железом ферментов дыхательной цепи.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЕРМЕНТОВ И ИХ ИНГИБИТОРОВ В МЕДИЦИНЕ

Использование ферментов в медицине происходит по трем направлениям:

- энзимодиагностика
- энзимотерапия
- применение ингибиторов ферментов

Энзимодиагностика

Энзимодиагностика – это исследование активности ферментов плазмы крови, мочи, слюны с целью диагностики тех или иных заболеваний. Примером может служить фермент **лактатдегидрогеназа**, определение его активности в плазме крови необходимо при заболеваниях сердца, печени, скелетной мускулатуры. Увеличение активности **амилазы** плазмы крови и мочи наблюдается при воспалительных процессах в поджелудочной и слюнных железах. Инфаркт миокарда сопровождается увеличением активности **лактатдегидрогеназы**, **креатинкиназы**, **аспартатаминотрансферазы**,

ЭНЗИМОТЕРАПИЯ

Энзимотерапия – это использование ферментов в качестве лекарственных средств.

Самыми распространенными ферментативными препаратами являются комплексы **ферментов желудочно-кишечного тракта** (Фестал, Панзинорм форте, Мезим форте, Энзистал и т.п.), используемые для заместительной терапии при нарушениях переваривания веществ.

Тканевой фермент **гиалуронидаза** используется организмом для обратимого изменения проницаемости межклеточного вещества. Лекарственную форму гиалуронидазы – **лидазу** – вводят для размягчения рубцов, появления подвижности в суставах, рассасывания гематом.

Цитохром с – фермент, участвующий в процессах тканевого дыхания. Его используют при асфиксии новорожденных, астматических состояниях, сердечной недостаточности, различных видах гепатита и т.п.

Рибонуклеаза и **дезоксирибонуклеаза** используются при вирусных инфекциях, при нанесении на рану разжижают гной, при ингаляциях уменьшают вязкость слизи, деполимеризуют вязкую и густую мокроту.

Коллагеназу применяют для ускорения отторжения некротизированных тканей, для очистки трофических язв.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНГИБИТОРОВ ФЕРМЕНТОВ

Ингибиторы протеаз (Контрикал, Гордокс) применяются при панкреатитах – состояниях, когда происходит активирование пищеварительных ферментов в протоках и клетках поджелудочной железы.

Ингибиторы холинэстеразы (физостигмин, прозерин) приводят к накоплению нейромедиатора ацетилхолина в синапсах и используются при миастении, двигательных и чувствительных нарушениях при невритах, радикулитах, психогенной импотенции.

Препараты, содержащие **ингибиторы моноаминоксидазы** (Наком, Мадопар), используются при снижении выработки нейромедиаторов катехоламинов в ЦНС (паркинсонизм). Подавление активности моноаминоксидазы (разрушающей катехоламины) сохраняет нормальную передачу сигналов в нервной системе.

Весьма широко используются в настоящее время **ингибиторы ангиотензин-превращающего фермента** (Каптоприл, Эналаприл и т.п.) – антигипертензивное средство. Они вызывают расширение периферических сосудов, уменьшение нагрузки на миокард, снижение артериального давления

КЛАССИФИКАЦИЯ ФЕРМЕНТОВ

В 1961 г в Москве V Международный биохимический союз принял современную классификацию ферментов.

В соответствии с этой классификацией все ферменты делятся:

- на **классы** – по типу катализируемой реакции,
- каждый класс подразделяется на **подклассы** – по природе атакуемой химической группы,
- подклассы делятся на **подподклассы** – по характеру атакуемой связи или по природе акцептора.

Выделяют 6 классов ферментов

I. Оксидоредуктазы, II. Трансферазы, III. Гидролазы, IV. Лиазы, V. Изомеразы, VI. Лигазы

Каждому ферменту присваивается четырехзначный порядковый номер:

Например, **алкогольдегидрогеназа** имеет номер КФ 1.1.1.1. – это оксидоредуктаза, действует на ОН-группу донора с НАД в качестве акцептора с первым порядковым номером в своем подподклассе; **лактатдегидрогеназа** – КФ 1.1.1.27.



**Знание некоторых принципов
заменяет знание многих фактов**

НОМЕНКЛАТУРА ФЕРМЕНТОВ

1. Тривиальное название – название, сложившееся исторически. Например, пепсин, трипсин,
2. К названию субстрата добавляется окончание «-аза» – уреаза, амилаза, липаза.
3. Систематическое название – согласно современной классификации

I класс. ОКСИДОРЕДУКТАЗЫ.

Ферменты катализируют окислительно-восстановительные реакции, лежащие в основе биологического окисления. Класс насчитывает 22 подкласса. Коферментами этого класса являются НАД, НАДФ, ФАД, ФМН, убихинон, глутатион, липоевая кислота.

Дополнение

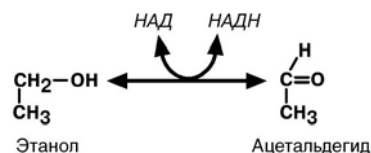
Например, в подклассы выделяются группы ферментов, действующие на СН-ОН-группу доноров(1.1), на СН-СН-группу доноров (1.3.), на СН-NH₂-группу доноров (1.4.), на гем-содержащие доноры (1.9.), на пероксид водорода в качестве акцептора (1.11.: например, каталаза (КФ 1.11.1.6), пероксидаза (КФ 1.11.1.7)).

На подподклассы деление производится в зависимости от акцептора – НАД⁺ или НАДФ⁺ (1.1.1., 1.2.1., 1.3.1., 1.4.1.), дисульфиды (1.2.4.), кислород (1.3.3.)

Название образуется:

донор электронов + акцептор электронов + оксидоредуктаза

Пример: **Алкоголь:НАД-оксидоредуктаза**



Систематическое название

Алкоголь:НАД-оксидоредуктаза

Рабочее название

Алкоголь-дегидрогеназа

Класс: 1. Оксидоредуктазы

Подкласс: 1.1. Действующие на СН-ОН-группу доноров

Подподкласс: 1.1.1. с НАД⁺ или НАДФ⁺ в качестве акцептора

Классификационный номер: КФ 1.1.1.1.

II КЛАСС. ТРАНСФЕРАЗЫ.

Катализируют реакции переноса различных групп от одного субстрата (донор) к другому (акцептор), участвуют в реакциях взаимопревращений различных веществ, обезвреживания природных и чужеродных соединений. Коферментами являются пиридоксальфосфат, коэнзим А, ТГФК, метилкобаламин. Класс подразделяется на 9 подклассов в зависимости от строения переносимых ими групп.

Дополнение

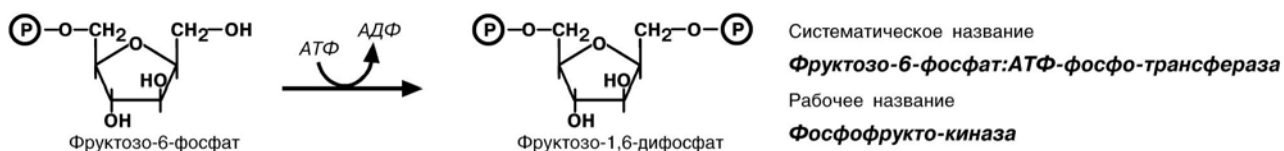
Например, в подклассы выделяются группы ферментов, переносящие одноуглеродные фрагменты (2.1.), альдегидные или кетостатки (2.2.), ацильные остатки (2.3.), азотсодержащие группы (2.6.), фосфорсодержащие группы (2.7.)

На подподклассы деление производится в зависимости от вида переносимой группы – метил (2.1.1.), карбоксиметил или формил (2.1.2.), аминогруппы (2.6.1.).

Название образуется:

донор группы + акцептор группы + группа + трансфераза

Пример: **Фруктозо-6-фосфат:АТФ-фосфотрансфераза**



Класс: 2. Трансферазы

Подкласс: 2.7. Переносящие фосфорсодержащие группыв

Подподкласс: 2.7.1. Со спиртовой группой в качестве акцептора

Классификационный номер: КФ 2.7.1.11.

III КЛАСС. ГИДРОЛАЗЫ.

Гидролазы — ферменты, осуществляющие разрыв внутримолекулярных связей в субстрате (за исключением С-С связей) путем присоединения элементов H_2O . подразделяется на 13 подклассов. Ввиду сложности многих субстратов у ряда ферментов сохранены тривиальные названия: пепсин, трипсин. Коферменты отсутствуют.

Гидролазы сосредоточены в основном в желудочно-кишечном тракте и в лизосомах клеток тканей. Осуществляют распад макромолекул, образуя легко адсорбируемые мономеры.

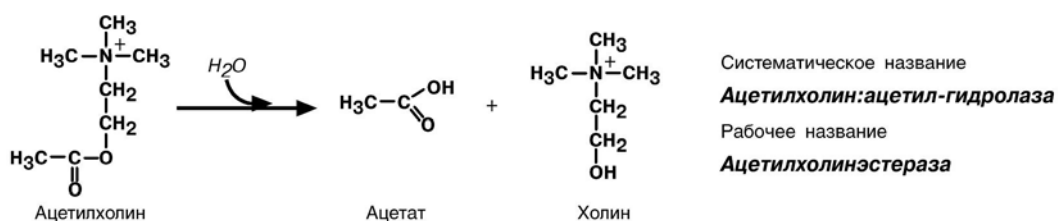
Дополнение

Например, в подклассы выделяются группы ферментов, действующие на сложные эфиры (3.1.), на простые эфиры (3.3.), на пептиды (3.4.), на углерод-углеродные связи (3.7.).

Среди подподклассов выделяют гидролазы карбоновых кислот (3.1.1.), гидролазы фосфомоноэфиров (3.1.3.).

Название образуется:

гидролизуемый субстрат + отделяемая группа + гидролаза

Пример: Ацетилхолин:ацетил-гидролаза**Класс:** 3. Гидролазы**Подкласс:** 3.1. Действующие на сложные эфиры**Подподкласс:** 3.1.1. Гидролазы карбоновые кислоты**Классификационный номер:** КФ 3.1.1.7.**IV класс. ЛИАЗЫ.**

Лиазы — ферменты, катализирующие разрыв С–О, С–С, С–N и других связей, а также **обратимые** реакции отщепления различных групп субстратов не гидролитическим путем. Выделяют 7 подклассов. Эти реакции сопровождаются образованием двойной связи или присоединением групп к месту двойной связи. Класс насчитывает около 230 ферментов. Лиазы — сложные ферменты.

Дополнение

Например, в подклассы выделяются ферменты, действующие на углерод-углеродные связи (4.1.), углерод-кислородные связи (4.2.), углерод-азотные связи (4.3.).

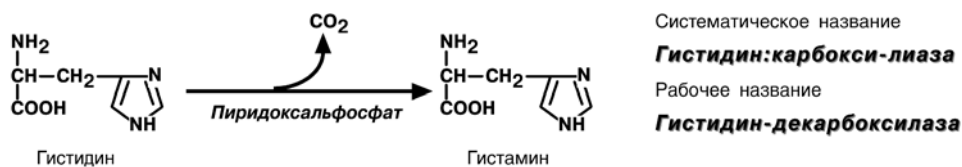
Среди подподклассов выделяют карбоксилазы (4.1.1.), гидролиазы (4.2.1.).

Название образуется:

расщепляемый субстрат + отделяемая группа + лиаза

Иногда название дается по обратной реакции:

продукт реакции + синтаза

Пример: **Гистидин:карбокси-лиаза****Класс:** 4. Лиазы**Подкласс:** 4.1. Углерод-углерод-лиазы**Подподкласс:** 4.1.1. Карбоксилазы**Классификационный номер:** КФ 4.1.1.22**V класс. ИЗОМЕРАЗЫ**

Изомеразы — ферменты, катализирующие изомерные превращения в пределах одной молекулы. Выделяют 6 подклассов. Класс насчитывает более 80 ферментов. Изомеразы — сложные ферменты. К их коферментам относятся пиридоксальные,

дезоксиаденозинкобаламин, пептидные (глутатион), фосфаты моносахаридов (глюкозо-1,6-дифосфат) и др.

Дополнение

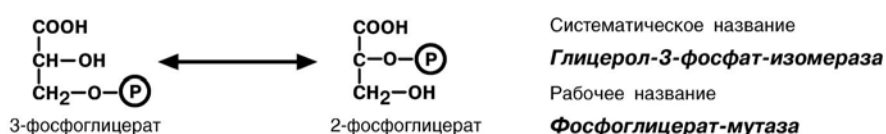
Например, в подкласс 5.1. выделяются рацемазы и эпимеразы, в подкласс 5.2. – цис-транс-изомеразы, 5.3. – внутримолекулярные оксидоредуктазы.

Среди подподклассов выделяют действующие на аминокислоты и их производные (5.1.1.), на углеводы и их производные (5.1.3.), перемещающие C=C-связи (5.3.3.).

Название образуется:

субстрат + реакция

Пример: Глицерол-3-фосфат-изомераза



Класс: 5. Изомеразы

Подкласс: 5.4. Внутримолекулярные трансферазы

Подподкласс: 5.4.2. Фосфотрансферазы

Класификационный номер: КФ 5.4.2.1.

VI КЛАСС. ЛИГАЗЫ

Лигаза (синтетаза) — ферменты, катализирующие присоединение друг к другу двух молекул с использованием энергии высокоэнергетических связей АТФ (или других макроэргов). Лигаза — сложные ферменты. Они содержат нуклеотидные, биотиновые (витамин Н), фолиевые коферменты. Выделяют 6 подклассов.

Дополнение

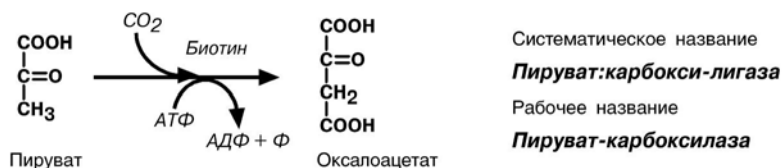
Например, подклассы выделяются по виду образуемой связи: углерод-кислород (6.1.), углерод-сера (6.2.), углерод-азот (6.3.), углерод-углерод (6.4.).

Среди подподклассов выделяют синтезирующие соединения типа кислота-тиол (6.2.1.), амиды (6.3.1.).

Название образуется:

- субстрат 1 + субстрат 2 + лигаза

Пример: Пируват:карбокси-лигаза



Класс: 6. Лигаза

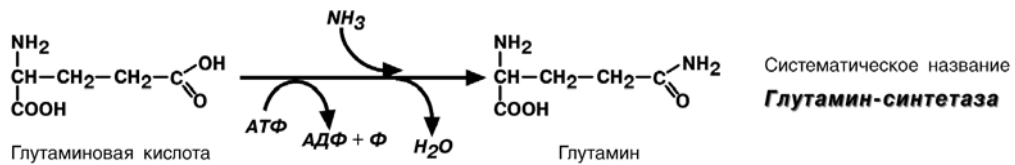
Подкласс: 6.4. Образующие связи углерод-углерод

Подподкласс: 6.3.1. (существует только один подподкласс)

Классификационный номер: КФ 6.4.1.1.

- продукт + синтетаза

Пример: **Глутамин-синтетаза**



Класс: 6, Лигазы

Подкласс: 6.3. Образующие связи углерод-азот

Подподкласс: 6.3.1. Амид-синтетазы

Классификационный номер: КФ 6.3.1.2.