

## ЦИКЛ КРЕБСА УЧАСТВУЕТ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБМЕНЕ ОРГАНИЗМА

Мансурова Дилафруз Ахмаджонова

Ассистент СамГМУ

Ишанкулов Илхом

Студент СамГМУ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14846667>

**Аннотация:** Цикл Кребса является центральным метаболическим путем, где в результате последовательности биохимических реакций высвобождается энергия, запасенная в форме АТФ. Цикл Кребса протекает в митохондриях. Цикл Кребса был открыт Ханским Кребсом. Цикл начинается с ацетил-КоА, который получают из углеводов, жиров и белков. Он вступает в цикл и превращается в цитрат, молекулу из шести углеродов.

**Ключевые слова:** Цикл Кребса, митохондрий, ацетил-КоА, Гликолиз, Фумарат, Малат.

### THE KREBS CYCLE IS INVOLVED IN THE BODY'S ENERGY METABOLISM

**Abstract:** The Krebs cycle is a central metabolic pathway where a sequence of biochemical reactions releases energy stored in the form of ATP. The Krebs cycle takes place in the mitochondria. The Krebs cycle was discovered by Hansky Krebs. The cycle begins with acetyl-CoA, which is obtained from carbohydrates, fats, and proteins. It enters the cycle and is converted to citrate, a six-carbon molecule.

**Keywords:** Krebs cycle, mitochondria, acetyl-CoA, Glycolysis, Fumarate, Malate.

### ВВЕДЕНИЕ

Энергетический обмен является фундаментальным процессом, обеспечивающим жизнедеятельность всех живых организмов. В центре этого процесса находится цикл трикарбоновых кислот (ТЦК), известный как цикл Кребса, который играет ключевую роль в метаболизме клеток. Этот биохимический путь представляет собой серию сложных реакций, происходящих в митохондриях, где органические молекулы, такие как углеводы, жиры и белки, окисляются с высвобождением энергии. Образующаяся энергия аккумулируется в виде аденозинтрифосфата (АТФ), который служит универсальной энергией для большинства клеточных функций.

Открытый в 1937 году Хансом Кребсом, этот цикл не только обеспечивает организм необходимыми энергетическими ресурсами, но и участвует в регуляции различных метаболических процессов, включая синтез аминокислот, глюконеогенез и липогенез. Цикл Кребса интегрирует катаболические и анаболические пути, что делает его центральным звеном в метаболической сети клетки.

Настоящая статья посвящена изучению механизма функционирования цикла Кребса, его роли в энергетическом обмене, а также особенностям регуляции и значению промежуточных продуктов для биосинтетических процессов. Рассматриваются ключевые ферменты цикла и их роль в поддержании энергетического баланса клетки.

Что такое цикл Кребса? Цикл Кребса представляет собой серию биохимических реакций в замкнутом цикле. Цикл ТСА играет центральную роль в метаболизме клетки, поскольку она получает продукты из различных субстратов. Цикл ТСА участвует как в

анаболических, так и в катаболических процессах и представляет собой строго регулируемый цикл. Конечными продуктами после каждого витка цикла являются одна молекула GTP или АТР, три молекулы NADH и одна молекула FADH<sub>2</sub>. Они необходимы для передачи электронов дыхательной цепи митохондрий.

### ГЛАВНАЯ ЧАСТЬ

Где происходит цикл Кребса? У эукариот: Цикл лимонной кислоты происходит в матрице митохондрий. У прокариот: Это происходит в протоплазме.

Пируват вырабатывается в цитозоле клетки. Пируват превращается в ацетил-КоА и транспортируется в митохондриальный матрикс, самую внутреннюю часть митохондрий.

Цикл Кребса является частью клеточного дыхания. Цикл Кребса в клеточном дыхании представляет собой катаболическую реакцию, протекающую внутри клетки. Это четырехэтапный процесс, в ходе которого глюкоза окисляется до углекислого газа, а кислород восстанавливается до воды. В этом процессе высвобождается энергия, которая запасается в виде молекул АТФ. Каждая молекула глюкозы вырабатывает от 36 до 38 АТР. 4 стадии клеточного дыхания следующие:

Стадия 1: Гликолиз происходит в цитоплазме клетки. Частичное окисление глюкозы (6-углеродная молекула) происходит из двух молекул пирувата (3-углеродная молекула). В этой реакции образуется АТФ, а NAD превращается в NADH.

Стадия 2: Окисление пирувата. Пируват, образующийся в процессе гликолиза, проникает в матрикс митохондрий и подвергается окислительному декарбоксилированию с образованием двух молекул ацетил-КоА. В этой реакции фермент пируватдегидрогеназа действует как катализатор. На этой стадии образуются диоксид углерода и NADH.

Этап 3: Цикл Кребса. В матриксе митохондрий ацетил-КоА вступает в реакцию с оксалоацетатом с образованием цитрата (6 углерода). В этом процессе высвобождаются 2 молекулы CO<sub>2</sub>, оксалоацетат перерабатывается, а энергия запасается в виде АТФ и других высокоэнергетических соединений, таких как NADH и FADH<sub>2</sub>.

Стадия 4: Окислительное фосфорилирование. NADH и FADH<sub>2</sub>, образовавшиеся на предыдущих этапах, передают свои электроны в цепь переноса электронов, расположенную на внутренней мембране митохондрий. NAD и FAD регенерируются, и кислород восстанавливается до воды.

Этапы цикла Кребса. Цикл Кребса представляет собой серию химических реакций, происходящих в митохондриях клеток. Этапы цикла Кребса следующие:

Этап 1: Цикл начинается с введения двухуглеродной ацетильной группы, полученной из ацетил-КоА, в сочетании с четырехуглеродным соединением оксалоацетатом. Образуется шестиуглеродная молекула, известная как цитрат. Реакцию катализирует фермент цитратсинтаза.

Этап 2: образуется изоцитрат, изомер цитрата. Это реакция гидратации, катализируемая ферментом аконитазой.

Этап 3: Изоцитрат подвергается реакции окислительного декарбоксилирования с образованием молекулы диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) и образованием NADH. Этот этап катализируется ферментом изоцитратдегидрогеназой.

Этап 4: Изоцитрат окисляется до альфа-кетоглутарата. На этой стадии образуются диоксид углерода и NADH, которые катализируются ферментативным комплексом альфа-кетоглутаратдегидрогеназа.

Этап 5: Окисляется альфа-кетоглутарат. Образуются диоксид углерода и NADH. Гуанозиндифосфат (GDP) фосфорилируется с образованием гуанозинтрифосфата (GTP), который превращается в АТФ. Реакция катализируется ферментативным комплексом альфа-кетоглутаратдегидрогеназа.

Этап 6: Альфа-кетоглутарат превращается в сукцинил-КоА, и образуется одна молекула NADH. Реакция катализируется альфа-кетоглутаратдегидрогеназным комплексом.

Этап 7: Сукцинил-КоА вступает в реакцию с молекулой гуанозиндифосфата (GDP) и образует по одной молекуле гуанозинтрифосфата (GTP) и сукцината. Реакция катализируется ферментом сукцинил-КоА синтетазой.

Этап 8: Сукцинат окисляется до фумарата и образуется FADH<sub>2</sub> (флавиндениндинуклеотид). Реакция катализируется ферментом сукцинатдегидрогеназой, который также является частью цепи переноса электронов.

Этап 9: Фумарат гидратируют до малата. Реакцию катализирует фермент фумараза.

Этап 10: Малат окисляется до оксалоацетата и образуется одна молекула NADH. Реакцию катализирует фермент малатдегидрогеназа.

Ферменты цикла Кребса. В эукариотических клетках ферменты, управляющие реакциями цикла лимонной кислоты, находятся в матриксе митохондрий, за исключением сукцинатдегидрогеназы и аконитазы, обнаруженных во внутренней мембране митохондрий. Общей особенностью этих ферментов является их зависимость от Mg<sup>2+</sup> в плане каталитической активности.

Цикл лимонной кислоты включает в себя несколько ферментативных стадий, каждая из которых обеспечивается определенным ферментом: Регулирование цикла Кребса.

Регулирование цикла ТСА происходит в трех различных точках и включает три следующих фермента: Цитратсинтаза, Изоцитратдегидрогеназа, Альфа-кетоглутаратдегидрогеназа.

Продукты цикла Кребса. Цикл Кальвина производит продукты, которые можно разделить на – промежуточные продукты и конечные продукты.

Промежуточные продукты цикла Кребса. Промежуточные продукты помогают в продолжении цикла и действуют как ключевые молекулы для других путей биосинтеза. Промежуточными продуктами, образующимися в цикле Кребса, являются: Цитрат (лимонная кислота), Изоцитрат, Оксоглутарат, Сукцинил- КоА, Сукцинат, Фумарат, Малат, Оксалоацетат (щавелеуксусная кислота)

Они помогают в выработке богатых энергией молекул, таких как АТФ, NADH и FADH<sub>2</sub>, которые играют важную роль в клеточном дыхании и производстве энергии.

Конечные продукты цикла ТСА или Креб. Цикл лимонной кислоты в одном цикле или одна молекула ацетил-КоА дает следующие конечные продукты:

(I) высвобождаются 2 молекулы CO<sub>2</sub>. Удаление CO<sub>2</sub> или декарбоксилирование лимонной кислоты происходит в двух местах.: При образовании α-кетоглутарата (5C) из изоцитрата (6C). При превращении α-кетоглутарата (5C) в сукцинил-КоА (4C).

(II) При образовании сукцинил-КоА из сукцината сукцинил-КоА образуется одна АТФ.

(III) NAD<sup>+</sup> восстанавливаются до NADH, и 1 FAD<sup>+</sup> превращается в FADH<sub>2</sub> в следующих реакциях: Изоцитрат превращается в α-кетоглутарат → NADH, превращение α-

кетоглутарата в сукцинил-КоА → NADH, Из сукцината в фумарат → FADH<sub>2</sub>, Превращение малата в оксалоацетат → NADH

Для каждой молекулы глюкозы требуется два цикла, поскольку из 2 молекул пирувата в результате окислительного декарбоксилирования образуется 2 молекулы ацетила. Одна молекула NADH дает 2-3 АТФ, а одна FADH<sub>2</sub> дает 2 АТФ при окислении в цепи переноса электронов. Следовательно,

Уравнение цикла Кребса / Реакция



Краткое описание цикла Кребса

Локализация – Происходит в митохондриях эукариотических клеток и протоплазме прокариотических клеток.

Этапы цикла Кребса – Различные этапы включают: Образование ацетил-КоА, Ацетил-КоА соединяется с оксалоацетатом с образованием цитрата. Изомеризация, Цитрат преобразуется в изоцитрат. Декарбоксилирование Изоцитрат подвергается окислительному декарбоксилированию с образованием α-кетоглутарата, высвобождающего CO<sub>2</sub> и продуцирующего NADH. Второе декарбоксилирование, α-кетоглутарат декарбоксилируется с образованием сукцинил-КоА, высвобождающего CO<sub>2</sub> и продуцирующего NADH. Образование сукцинил-КоА, Сукцинил-КоА получают из α-кетоглутарата, образуя GTP / АТФ и NADH. Образование сукцината, Сукцинил-КоА превращается в сукцинат, образуя FADH<sub>2</sub>. Образование фумаратов, Сукцинат окисляется с образованием фумарата, образуя FADH<sub>2</sub>. Образование малата, Фумарат гидратируется с образованием малата. Регенерация оксалоацетата, Малат окисляется для регенерации оксалоацетата с образованием NADH.

Конечный продукт – 4CO<sub>2</sub>, 6 NADH, 2 FADH<sub>2</sub>, и 2 АТФ.

Функция цикла Кребса. Различными важными функциями цикла Кребса являются: Генерация высокоэнергетических молекул, таких как АТФ, посредством окислительного фосфорилирования. Производство носителей электронов NADH и FADH<sub>2</sub>, которые передают электроны в цепь переноса электронов. Окисление ацетил-КоА, получаемого из углеводов, жиров и белков, с выделением энергии. Синтез промежуточных продуктов, таких как цитрат, α-кетоглутарат, сукцинил-КоА и оксалоацетат, для различных метаболических путей. Удаление диоксида углерода в виде отходов посредством реакций декарбоксилирования.

Важность цикла Кребса: Производство энергии: В цикле Кребса образуется богатая энергией молекула в форме АТФ; Цикл Кребса - это конечный путь окисления глюкозы, жиров и аминокислот. Образование NADH и FADH<sub>2</sub>: Эти молекулы действуют как переносчики электронов на последующих этапах клеточного дыхания. Биосинтез промежуточных продуктов: В цикле Кребса образуются промежуточные соединения, важные для различных путей биосинтеза в клетке. Например, оксалоацетат можно использовать для глюконеогенеза, а альфа-кетоглутарат можно использовать для синтеза аминокислот. Генетические дефекты ферментов цикла Кребса связаны с повреждением нервной системы. Сукцинил-КоА, образующийся в цикле Кребса, связан с синтезом гемоглобина и миоглобина. Цикл Кребса регулируется поступлением NAD<sup>+</sup> и использованием АТФ в физической и химической работе. Многие животные используют в качестве источника энергии не только глюкозу, но и другие питательные вещества.

Витамины, такие как рибофлавин, ниацин, тиамин и пантотеновая кислота, входят в состав различных кофакторов ферментов (FAD, NAD) и кофермента А.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цикл Кребса, также известный как цикл лимонной кислоты или цикл ТСА (цикл трикарбоновой кислоты), служит центральным метаболическим путем, высвобождающим энергию, запасенную в форме АТФ. Этот лимонный цикл происходит в митохондриях. Начиная с ацетил-КоА, получаемого из углеводов, жиров и белков, в конечном итоге образуются богатые энергией молекулы, такие как АТФ, NADH и FADH<sub>2</sub>. Цикл Кребса является неотъемлемой частью клеточного дыхания, способствуя окислению глюкозы, жирных кислот и аминокислот. Его важность заключается в производстве энергии, синтезе промежуточных продуктов для различных метаболических путей и его связи с нервной функцией и синтезом гемоглобина.

### Список Литературы.

1. Мансурова Диляфруз Ахмаджоновна, Низомов Фирдавс Умид угли. Лучшие интеллектуальные исследования, // ОБНАРУЖЕНИЕ АММИАКА В ТАБАЧНОМ ДЫМЕ. 2025. № 1 С 222-226
2. AD Tillyaev, Sh M Sayitkulov, DA Mansurova. AIP Conference Proceedings // Water based anticorrosion paint and materials for protection against an aggressive environment. 2022/6/16. № 1
3. Мансурова Дилафруз Ахмаджоновна Низомов Фирдавс Умид угли. AMALIY VA TIBBIYOT FANLARI ILMIY JURNALI //АЛОЭ И ЕГО ЛЕЧЕБНЫЕ СВОЙСТВА. 2024/11. № 3. С 167-168
4. Mamadoliyev Ikrom Pkhomidinovich Ravshanov Rustam Aktamovich, Mansurova Dilafruz Axmatjanovna. INTERNATIONAL BULLETIN OF MEDICAL SCIENCES AND CLINICAL RESEARCH // ENVIRONMENTAL POLLUTION AND INFLUENCE ON HUMAN HEALTH. 2024. № 4. С 33-37
5. Кулматов Нурсайд Бахром угли, Мансурова Дилафруз Ахматжановна. INTERNATIONAL JOURNAL OF RECENTLY SCIENTIFIC RESEARCHER'S THEORY // РОЛЬ ФЕРМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА. 2024. № 4. С 60-67
6. Алия Ибрагимовна Хулаева, Дилафруз Ахматжановна Мансурова. NTERNATIONAL JOURNAL OF RECENTLY SCIENTIFIC RESEARCHER'S THEORY //ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА .2024. № 4. С 54-59
7. Tillyaev A.D, Sayitkulov Sh.M, Mansurova D.A. USBIK 2021 ONLINE INTERNATIONAL CONGRESS // Water Based Anticorrosion Paint and Materials for Protection against an Aggressive Environment. 2021. С 35
8. Mansurova Dilafruz Axmedjanovna Kholmurodova Dilafruz Kuvatovna, Islomov Laziz Bekmurodovich. nternational Journal of Education, Social Science & Humanities. Finland Academic Research Science Publishers. // STUDY METHODS OF OBTAINING COMPOSITES BY ADDING FILLERS TO LOCAL RAW MATERIALS. 2023/12/22 С 336-340
9. Эвилаина Абдусаломова, Дилафруз Ахмаджоновна Мансурова. Лучшие интеллектуальные исследования // РОЛЬ МЕТАЛЛОВ В КОСМЕТИКЕ. 2025. № 1. С 227-234

10. Raimov Ro'zimurod Islom O'g, Mansurova Dilafruz Axmedjanovna. Лучшие интеллектуальные исследования // INSONGA RADYASIYALARNING TA'SIRI. 2025. № 1. С 235-240
11. Д.К Холмуродова, Д А Мансурова. PEDAGOG // ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВ. 2023/11/8 № 10. С 446-451
12. Икромов Ш. А., Худойкулов Ж. И. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ И МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ //Research Focus. – 2024. – Т. 3. – №. 11. – С. 146-150.
13. Мурадова Д. и др. СПИРТЛАРНИНГ КАТАЛИТИК ЦИАНЛАШ РЕАКЦИЯСИНИ ЎРГАНИШ //Журнал естественных наук. – 2022. – Т. 2. – №. 1. – С. 71-72.
14. Мурадова Д. и др. СПИРТЛАРНИНГ АММИАК БИЛАН ЦИАНЛАШ РЕАКЦИЯСИНИНГ ТЕРМОДИНАМИКАСИ //Журнал естественных наук. – 2022. – Т. 2. – №. 1. – С. 75-76.