

## Цикл Кребса И Его Значение

**Турдиева Одинахон Мамировна**  
доцент кафедры биологии

**Каххорова Фотимахон Комиловна**  
магистрант биологии 1 курса

**Хамдамова Гулшода Шухратжон кизи**  
студентка 4 курса биологического факультета

### АБСТРАКТ

Цикл Кребса (цикл трикарбоновых кислот, цикл лимонной кислоты) — это циклическая последовательность ферментативных реакций, образующихся при окислении ди-и трикарбоновых кислот. Он является общим заключительным этапом окислительного распада углеводов, жиров и белков (аминокислот) до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

### ARTICLE INFO

**Received:** 20<sup>th</sup> March 2026

**Accepted:** 14<sup>th</sup> April, 2026

**KEY WORDS:** цикл трикарбоновых кислот, аэробного дыхания, кетоглутарат, ацетил-КоА, малатдегидрогеназы, малат, электрон-транспортная цепь, АТФ,  $\text{NAD}^+$ ,  $\text{NADH}_2$

Цикл Кребса (цикл трикарбоновых кислот, цикл лимонной кислоты) — это циклическая последовательность ферментативных реакций, образующихся при окислении ди-и трикарбоновых кислот. Он является общим заключительным этапом окислительного распада углеводов, жиров и белков (аминокислот) до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Название цикла Кребса связано главным образом с именем его первооткрывателя — Hans Adolf Krebs. В 1937 году он открыл данный цикл, после чего в науке он стал известен под этим названием. За это открытие Ханс Кребс был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине в 1953 году [1,2]

1. Цикл лимонной кислоты (так как первым продуктом является лимонная кислота — цитрат).
2. Цикл трикарбоновых кислот (так как первый продукт — цитрат — содержит три группы  $\text{COOH}$ ).

Цикл Кребса является основным этапом аэробного дыхания, широко распространённым в клетках животных, растений и микроорганизмов. Реакции цикла Кребса (10–12 реакций) протекают в митохондриях. Цикл начинается с образования лимонной кислоты (цитрата) и заканчивается образованием оксалоацетата. У животных, растений и микроорганизмов этот процесс протекает практически одинаково, однако в отдельных участках и механизмах могут наблюдаться различия. Цикл Кребса в клетках растений, животных и микроорганизмов проходит через одни и те же основные химические стадии. Например: ацетил-КоА соединяется с оксалоацетатом с образованием цитрата; из цитрата образуется изоцитрат; из изоцитрата —  $\alpha$ -кетоглутарат; из  $\alpha$ -кетоглутарата — сукцинил-КоА и сукцинат, далее образуются фумарат, малат и снова оксалоацетат — эти процессы одинаковы для всех указанных организмов.

В растительных клетках цикл происходит в митохондриях, так же как и у животных. Однако у растений, благодаря наличию фотосинтеза и собственных источников глюкозы, источники ацетил-

КоА могут отличаться. У растений он может поступать также из дополнительных метаболических путей (например, из аминокислот или при синтезе липидов) [3.]

В клетках животных ацетил-КоА в основном образуется из глюкозы (в результате гликолиза) или из жирных кислот. Стадии цикла одинаковы, однако его направление и скорость могут изменяться в зависимости от энергетических потребностей организма. Например, в мышечных клетках при недостатке кислорода цикл замедляется. У аэробных бактерий и грибов основные стадии цикла Кребса аналогичны, однако у некоторых микроорганизмов отдельные этапы могут отсутствовать или заменяться альтернативными путями. Например, *E. coli* при определённых условиях использует укороченный или модифицированный вариант цикла [4]

Цикл Кребса объединяет обмен белков, жиров, углеводов и других веществ, проявляя интегративное свойство. Практически каждое вещество цикла лимонной кислоты может служить предшественником (сырьём) для синтеза других соединений, что называется амфиболичностью.

**Стадии цикла лимонной кислоты.** Цикл лимонной кислоты состоит из 4 взаимосвязанных этапов (рис. 1). К ним относятся:

1. Этап распада.
2. Образование ацетил-КоА.
3. Цикл Кребса и Электрон-транспортная цепь.
4. Этап синтеза АТФ.

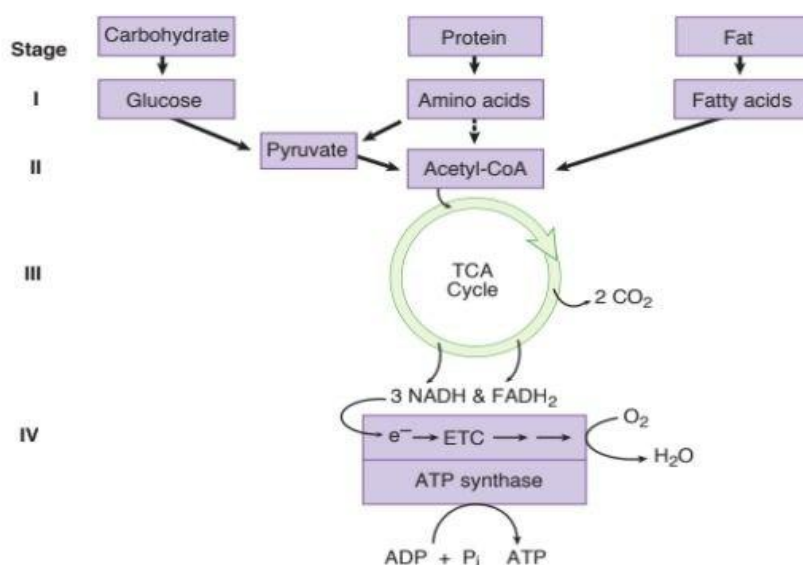


Рисунок 1. Стадии цикла лимонной кислоты

На этапе распада глюкоза образуется в результате расщепления углеводов. Глюкоза проходит подготовительный этап и образует 2 молекулы пирувата. При образовании пирувата из каждой молекулы образуется по 2 молекулы АТФ, кроме того, за счёт восстановления NAD<sup>+</sup> до NADH<sub>2</sub> образуется дополнительно по 3 молекулы АТФ. Из пирувата под действием фермента пируватдегидрогеназы образуется ацетил-КоА, при этом в сумме выделяется 2 молекулы CO<sub>2</sub> и образуется 6 молекул АТФ. Далее ацетил-КоА вступает в цикл лимонной кислоты [5]

Цикл лимонной кислоты является основным источником доноров для Электрон-транспортная цепь. Данный метаболический путь представляет собой последовательность реакций, в результате которых ацетил-КоА полностью окисляется до CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O. Ацетил-КоА под действием фермента цитратсинтазы соединяется с оксалоацетатом с образованием цитрата, при этом наблюдается поглощение воды. Из цитрата под действием фермента аконитазы сначала образуется цис-аконитат, затем — D-изоцитрат. Этот процесс протекает с первоначальным выделением воды и последующим её присоединением. Из D-изоцитрата при участии фермента изоцитратдегидрогеназы образуется α-кетоглутарат; при этом NAD<sup>+</sup> восстанавливается до NADH<sub>2</sub> и выделяется 3 молекулы CO<sub>2</sub>.

При образовании сукцинил-КоА также образуются 3 молекулы  $\text{CO}_2$  и  $\text{NADH}_2$ , дополнительно синтезируется 3 молекулы АТФ.

Образование сукцината является важным этапом, при котором происходит реакция:  $\text{ГДФ} + \text{Р} \rightarrow \text{ГТФ}$ . ГДФ по своим свойствам приблизительно эквивалентен АДФ[5,6]

При образовании фумарата с участием кофермента Q образуется  $\text{FADH}$  и 2 молекулы АТФ.  $\text{FADH}$  является важным переносчиком электронов в электрон-транспортной цепи.

Под действием ферментов фумаразы и малатдегидрогеназы образуются малат и оксалоацетат. При образовании малата наблюдается поглощение воды. Как видно, и начальным, и конечным продуктом цикла является оксалоацетат; именно благодаря этому веществу цикл может непрерывно продолжаться при участии ацетил-КоА (рис. 2).

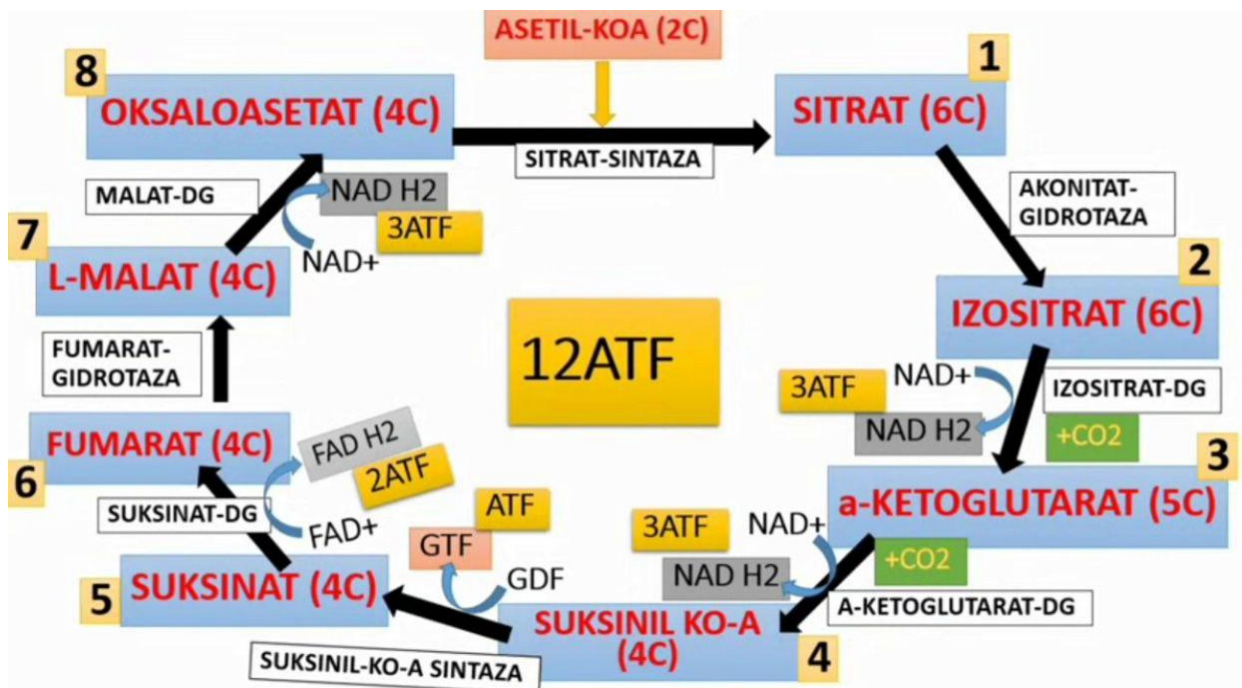


Рисунок 2. Общая схема цикла лимонной кислоты

Цикл лимонной кислоты может ингибироваться в зависимости от увеличения или изменения концентрации образующихся веществ. Ингибирование цикла лимонной кислоты — это процесс замедления или остановки активности ферментов цикла. Это может происходить как для регуляции метаболизма, так и под действием токсических веществ. Например, при реакции образования цитрата под действием фермента цитратсинтазы АТФ,  $\text{NADH}$ , цитрат и сукцинил-КоА действуют как ингибиторы, замедляя реакцию и временно останавливая цикл. Кроме того,  $\alpha$ -кетоглутаратдегидрогеназа ингибируется  $\text{NADH}$ , сукцинил-КоА и активируется ионами  $\text{Ca}^{2+}$ . Основная цель этих процессов — контроль метаболизма клетки и поддержание энергетического баланса.

Цикл Кребса (цикл лимонной кислоты) является важным этапом клеточного дыхания и протекает в матриксе митохондрий. В ходе этого процесса ацетил-КоА последовательно окисляется с образованием  $\text{NADH}$ ,  $\text{FADH}_2$  и АТФ (или ГТФ). Эти вещества далее используются в электрон-транспортной цепи для синтеза большого количества энергии в виде АТФ.

Изучение цикла Кребса позволяет предотвращать многие заболевания, например, ожирение. Все биополимеры, которые мы потребляем, в конечном итоге превращаются в ацетил-КоА. Избыточное количество ацетил-КоА, образующееся из сахаров, приводит к накоплению жиров и избыточному весу. Ограничение потребления сахара помогает предотвратить ожирение [6].

Общий вывод. Цикл Кребса (цикл лимонной кислоты) является важным этапом клеточного дыхания и протекает в матриксе митохондрий. В этом процессе ацетил-КоА постепенно окисляется с образованием  $\text{NADH}$ ,  $\text{FADH}_2$  и АТФ (или ГТФ). Эти соединения далее используются в электрон-

транспортной цепи, способствуя выработке большого количества энергии (АТФ) в клетке. Изучение цикла Кребса позволяет предотвращать многие заболевания, например, ожирение. Все биополимеры, которые мы потребляем, в конечном итоге превращаются в ацетил-КоА. Избыточное количество ацетил-КоА, образующееся из сахаров, ведёт к накоплению жировых запасов и появлению избыточного веса. Ограничение потребления сахара помогает предотвращать развитие ожирения.

### **Литературы**

1. Berg J. M., Tymoczko J. L., Gatto G. J., Stryer L. Biochemistry, 9th edition, W.H. Freeman, 2019.
2. Nelson D. L., Cox M. M. Lehninger Principles of Biochemistry, 8th edition, W.H. Freeman, 2021.
3. Voet D., Voet J. G. Biochemistry, 5th edition, John Wiley & Sons, 2016.
4. Krebs H. A. The History of the Citric Acid Cycle, 1970, FEBS Letters.
5. Campbell M. K., Farrell S. O. Biochemistry, 9th edition, Cengage Learning, 2020.
6. Alberts B. et al. Molecular Biology of the Cell, 6th edition, Garland Science, 2014.