

ЦИКЛ КРЕБСА

Достонбек Рустамович Жураев

Студент Узбекский государственный университет физической культуры и спорта

Алмасхан Таджимирзаевна Нишанбаева

Преподаватель Узбекский государственный университет физической культуры и спорта dostonceek5@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Цикл лимонной кислоты был описан биохимиком Хансом Адольфом Кребсом в 1937 году и поэтому также называется циклом Кребса. С помощью различных экспериментов ученый выяснил, какие промежуточные продукты образуются при окислении пирувата и что это должен быть циклический процесс. Цикл лимонной кислоты является «узлом» метаболической системы. Его наиболее важной функцией является производство НАДН для дыхательной цепи. Водород, связанный с НАДН, окисляется до воды в митохондриальной мембране молекулярным кислородом. Энергия, выделяющаяся при этом, используется для синтеза АТФ. Этот процесс, также известный как окислительное фосфорилирование, является наиболее эффективным процессом производства АТФ.

Ключевые слова: цикл трикарбоновых кислот, НАДН, глюкоза, жиры, ФАДН

ABSTRACT

The citric acid cycle was described by biochemist Hans Adolf Krebs in 1937 and is therefore also called the Krebs cycle. With the help of various experiments, the scientist found out which intermediates are formed during the oxidation of pyruvate and that it should be a cyclic process. The citric acid cycle is the "node" of the metabolic system. Its most important function is the production of NADH for the respiratory chain. The hydrogen bound to NADH is oxidized to water in the mitochondrial membrane by molecular oxygen. The energy released during this process is used for the synthesis of ATP. This process, also known as oxidative phosphorylation, is the most efficient ATP production process.

Keywords: tricarboxylic acid cycle, NADH, glucose, fats, FADN.

ВВЕДЕНИЕ

Цикл лимонной кислоты — это цикл, лежащий в основе метаболизма, который связан с дыхательной цепью у всех организмов, потребляющих кислород. Встречается в митохондриях эукариот и в цитоплазме прокариот. Он является частью клеточного дыхания и у аэробных организмов предшествует собственно процессам окисления в дыхательной цепи. Цикл лимонной кислоты является третьим из четырех этапов катаболизма углеводов (расщепление богатых энергией углеводосодержащих соединений). Это происходит после гликолиза и окислительного декарбоксилирования и непосредственно перед дыхательной цепью. Подсчитано, что более 90% энергии, получаемой с пищей, является результатом цикла Кребса.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результатом цикла Кребса является синтез небольшого количества АТФ и образование НАД \cdot Н₂, который далее направляется на следующий этап клеточного дыхания — дыхательную цепь (окислительное фосфорилирование), расположенную на внутренней мембране митохондрий. Образовавшаяся в результате гликолиза пировиноградная кислота (пируват) поступает в митохондрии, где она в конечном итоге полностью окисляется, превращаясь в углекислый газ и воду. Сначала это происходит в цикле Кребса, затем при окислительном фосфорилировании. До цикла Кребса пируват декарбоксилируется и дегидрируется. В результате декарбоксилирования отщепляется молекула СО₂, дегидрирование — это отщепление атомов водорода. Они соединяются с НАД. В результате из пировиноградной кислоты образуется уксусная, которая присоединяется к коферменту А. Получается ацетилкофермент А (ацетил-КоА) — СН₃СО~S-КоА, содержащий высокоэнергетическую связь. Превращение пирувата в ацетил-КоА обеспечивает большой ферментативный комплекс, состоящий из десятков полипептидов, связанным с переносчиками электронов. Цикл Кребса начинается с гидролиза ацетил-КоА, при котором отщепляется ацетильная группа, содержащая два атома углерода. Далее ацетильная группа включается в цикл трикарбоновых кислот. Ацетильная группа присоединяется к щавелевоуксусной кислоте, имеющей четыре атома углерода. В результате образуется лимонная кислота, включающая шесть атомов углерода. Энергию для этой реакции предоставляет макроэнергетическая связь ацетил-КоА.

ОБСУЖДЕНИЕ

Цикл лимонной кислоты представляет собой круговой метаболический путь. Он состоит из 8 отдельных реакций, которые катализируются специфическими ферментами и необходимы для выработки энергии и получения промежуточных продуктов для синтеза важных биомолекул. У эукариот цикл лимонной кислоты протекает в митохондрии, а у прокариот — в цитоплазме. Отправной точкой является двухуглеродная молекула ацетил-КоА. Он вводится в цикл и там окисляется с образованием двух молекул углекислого газа (CO_2). Затем мы выдыхаем газообразный углекислый газ через легкие. Один цикл дает три молекулы НАД и по одной молекуле ФАД₂ и ГТФ. Молекулы-переносчики электронов (НАД и ФАД₂) затем переносятся на внутреннюю митохондриальную мембрану. Здесь происходит окончательное окисление, то есть дыхательная цепь, которая следует за циклом лимонной кислоты. Опишем поэтапно все 8 реакций цикла Кребса: Шаг 1: оксалоацетат (C₄) + ацетил-КоА (C₂) → цитрат (C₆). Образуется соединение, состоящее из 6 атомов углерода, цитрат (= соль лимонной кислоты). На следующем этапе группа OH переносится от цитрата к соседнему атому углерода. Поэтому цитрат перегруппировывается в изоцитрат с помощью фермента аконитазы. Шаг 2: Цитрат (C₆) → Изоцитрат (C₆). Оба соединения имеют одинаковые атомы, просто они расположены по-разному (= изомеры). В результате изоцитрат окисляется, т.е. испускает электроны. Электроны переносятся на переносчик электронов НАД + H⁺. Это создает молекулу НАДН. Кроме того, на этом этапе отщепляется молекула CO_2 . Шаг 3: изоцитрат (C₆) → α-кетоглутарат (C₅). Это то, что известно как декарбоксилирование. В нем участвует фермент под названием изоцитратдегидрогеназа. Шаг 4. На следующем этапе реакции происходит дальнейшее окисление и удаление CO_2 . Вновь образуется молекула НАДН. Кроме того, мультиферментный комплекс переносит группу кофермента А на образовавшуюся молекулу. Образуется сукцинил-КоА, который представляет собой молекулу, которая, как и ацетил-КоА, содержит связь с очень высокой энергией. Шаг 5. Затем сукцинил-КоА снова отщепляется от кофермента А с помощью фермента, называемого сукцинил-КоА-синтетазой. Это высвобождает энергию в виде ГТФ. Затем ГТФ превращается в АТФ. Полученная молекула называется сукцинатом. Шаг 6: сукцинат теперь окисляется до фумарата на следующей стадии реакции. Высвобождающиеся при этом электроны и протоны водорода передаются окислителю ФАД. Это создает молекулу FADH₂. Фумарат также используется для создания



различных аминокислот, таких как тирозин и фенилаланин. Шаг 7. На следующем этапе фермент фумараза заставляет молекулу воды связываться с двойной связью фумарата. В этой реакции гидратации образуется малат (анион яблочной кислоты). Шаг 8. Затем ОН-группа малата окисляется до карбонильной группы малатдегидрогеназой на последней стадии реакции. Образуется молекула оксалоацетата. Также образуется молекула НАДН. Оксалоацетат теперь может снова реагировать с ацетил-КоА с образованием цитрата и снова проходить цикл. Можно разделить цикл Кребса на две фазы. Первая половина отвечает за распад углеродного скелета в виде элиминации углекислого газа (катаболический). Вторая половина служит для восстановления (анаболический) акцепторной молекулы (оксалоацетат).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цикл Кребса представляет собой метаболический процесс, происходящий в клетках для выработки энергии. Этот цикл происходит в цитоплазме клеток и необходим для клеточного дыхания. Цикл Кребса начинается с поступления в цикл ацетил-КоА, соединения, образующегося в результате углеводного, липидного и белкового метаболизма. Ацетил-КоА соединяется с оксалоацетатом с образованием цитрата. В ходе ряда химических реакций цитрат расщепляется на CO_2 и воду, высвобождая энергию в виде АТФ. Во время цикла Кребса образуется несколько важных промежуточных соединений, включая цитрат, изоцитрат, α -кетоглутаровую кислоту и янтарную кислоту. Эти соединения важны не только для производства энергии, но и для биосинтеза аминокислот и жирных кислот.

Цикл Кребса также важен для контроля гомеостаза организма. Например, когда организму требуется дополнительная энергия, увеличивается выработка ацетил-КоА, что увеличивает скорость цикла Кребса.

Таким образом, цикл Кребса является важным метаболическим процессом для производства энергии в клетках. Это происходит в цитоплазме и использует соединения, образующиеся в результате метаболизма углеводов, липидов и белков. Помимо производства энергии, цикл Кребса также важен для биосинтеза различных соединений и для контроля гомеостаза в организме.

REFERENCES

1. Cavalcanti JH, Esteves-Ferreira AA, Quinhones CG, Pereira-Lima IA, Nunes-Nesi A, Fernie AR, Araújo WL. Evolution and functional implications of the tricarboxylic acid



- cycle as revealed by phylogenetic analysis. *Genome Biol Evol.* 2014 Oct 01;6(10):2830-48. [PMC free article] [PubMed]
2. Sousa JS, D'Imprima E, Vonck J. Mitochondrial Respiratory Chain Complexes. *Subcell Biochem.* 2018;87:167-227. [PubMed]
3. Spydevold S, Davis EJ, Bremer J. Replenishment and depletion of citric acid cycle intermediates in skeletal muscle. Indication of pyruvate carboxylation. *Eur J Biochem.* 1976 Dec;71(1):155-65. [PubMed]
4. Haddad A, Mohiuddin SS. StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing; Treasure Island (FL): May 8, 2022. Biochemistry, Citric Acid Cycle. [PubMed]
5. Wiegand G, Remington SJ. Citrate synthase: structure, control, and mechanism. *Annu Rev Biophys Biophys Chem.* 1986;15:97-117. [PubMed]