

La combustión de azúcares y la respiración celular en el cuerpo humano

Las células necesitan energía para llevar a cabo el metabolismo. Esta energía la obtienen “quemando” nutrientes que ingerimos con los alimentos. Los nutrientes más importantes son los carbohidratos o hidratos de carbono, las grasas y las proteínas. Los diferentes nutrientes poseen variadas funciones en el cuerpo. Los carbohidratos, p. ej., sirven principalmente como proveedores de energía para mantener el trabajo de los músculos, la actividad de los órganos del cuerpo y el calor corporal.

Los carbohidratos pueden constar de azúcares simples, dobles o múltiples (monosacáridos, disacáridos y polisacáridos). Los dos últimos se descomponen en azúcar simple (p. ej., glucosa) durante el proceso de digestión, con ayuda de diversas enzimas. La glucosa se difunde en la sangre desde el intestino. La glucosa es transportada desde allí a las células donde será consumida (p. ej., células musculares) y oxidada a agua y dióxido de carbono en los procesos de la llamada respiración celular (glucólisis, ciclo de Krebs, cadena respiratoria o cadena de transporte de electrones). El resultado de estos procesos de oxidación es la producción de ATP (trifosfato de adenosina), un acumulador de energía química de uso universal en el metabolismo. Los tres procesos parciales de la respiración celular se desarrollan en diferentes áreas de la célula. La **glucólisis** tiene lugar en el citoplasma de la célula; el **ciclo de Krebs** y la **cadena respiratoria**, en la mitocondria. La mayor parte de la energía se obtiene en la cadena respiratoria. Por eso se dice con frecuencia que las mitocondrias son las “centrales energéticas” de la célula. Cuanto mayor es el número de mitocondrias en una célula, mayor es su demanda de energía. Muchas de esas “centrales energéticas, por ejemplo, se encuentran en las células del miocardio o en las células del cerebro.

Los tres procesos de la respiración celular

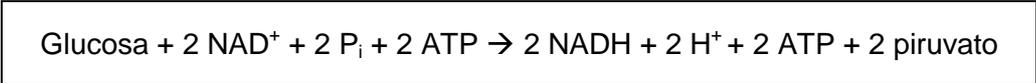
Glucólisis

Durante la glucólisis, el esqueleto de carbono de una molécula de glucosa con seis átomos de carbono se convierte en dos moléculas con tres átomos de carbono. El compuesto resultante se conoce como piruvato (o ácido pirúvico).

La degradación de la glucosa se desarrolla en nueve pasos:

- En el primer paso de la reacción se transfiere un grupo fosfato (P_i) a la molécula de glucosa. Este proceso se denomina **fosforilación**. Se obtiene glucosa-6-fosfato, que es más energética y ya no puede atravesar la pared celular.
- En los pasos dos y tres tiene lugar la transformación en fructosa-6-fosfato. Esta se descompone en dos procesos en dos fosfatos de triosa, utilizando energía (ATP).
- En los pasos cuatro a nueve tienen lugar sucesivos procesos de transformación en los que se obtiene energía química en forma de ATP y NADH (dinucleótido de nicotinamida y adenina). El NADH se necesita más tarde en la cadena respiratoria para la síntesis de ATP.
- El producto final de la glucólisis, el piruvato, es transportado a las mitocondrias para la obtención de energía.

La ecuación general de la glucólisis es:



Ciclo de Krebs (ciclo del ácido cítrico)

Preparación para el ciclo de Krebs

Como preparación para el ciclo de Krebs, el esqueleto de carbono del piruvato se reduce de tres a dos átomos de carbono y se une a la coenzima A. En este proceso se libera dióxido de carbono e hidrógeno. El hidrógeno es transferido a la coenzima NAD^+ , formando $\text{NADH} + \text{H}^+$. El producto resultante es la acetil coenzima A (Acetil-CoA en su forma abreviada), una molécula más reactiva.

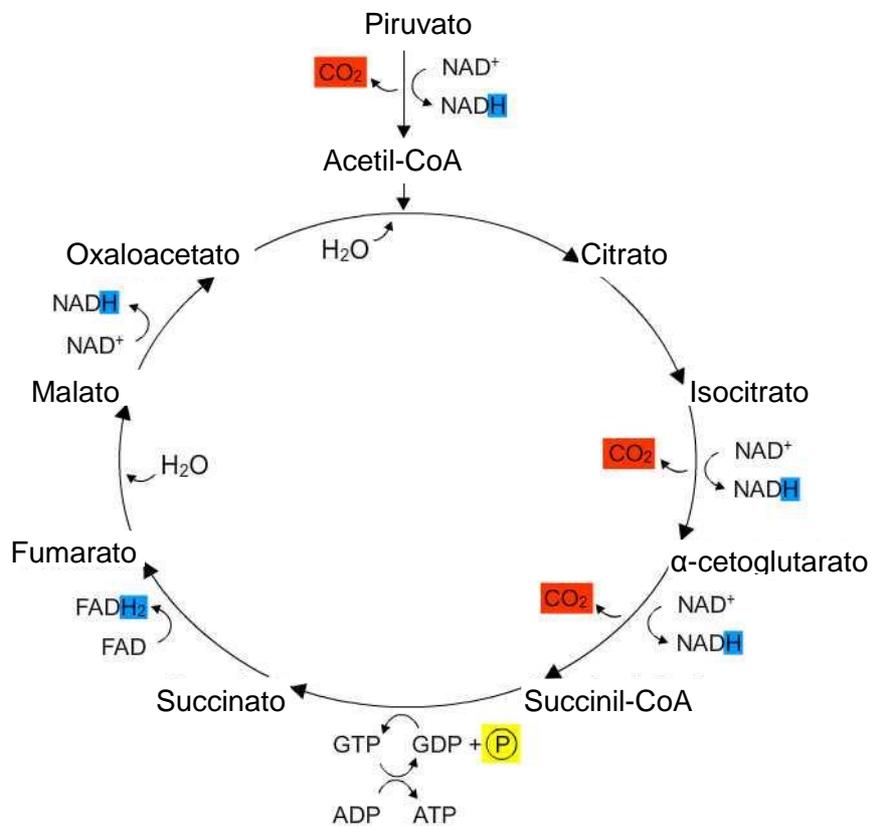


Fig. 1: Visión general del ciclo de Krebs.

Desarrollo del ciclo de Krebs

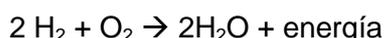
En el ciclo de Krebs, la acetil-CoA reacciona con el oxaloacetato (ácido oxalacético) ya existente en la célula, formando citrato, una molécula compuesta por cuatro átomos de carbono (de ahí el nombre de “ciclo del ácido cítrico”). El citrato se degrada de nuevo a oxaloacetato en varias reacciones parciales. Y el ciclo comienza de nuevo. La finalidad de estos procesos de degradación es la obtención de hidrógeno para ser transferido a la coenzima NAD^+ .

La degradación del **citrato** se desarrolla en varios procesos de oxidación (v. Fig. 1):

- En el primer paso se transforma el citrato en **isocitrato**. El isocitrato se oxida a α -cetoglutarato perdiendo un grupo de dióxido de carbono.
- El **α -cetoglutarato** se oxida a su vez a succinil-CoA, perdiendo asimismo un grupo de dióxido de carbono. Este proceso se conoce también como “descarboxilación oxidativa”.
- Durante la reacción de **succinil-CoA** (ácido succínico-CoA) a succinato, el portador de energía GDP (guanosín difosfato) se fosforila a GTP, que a su vez fosforila un ADP.
- El **succinato** (ácido succínico) se transforma por oxidación en fumarato. El hidrógeno liberado es transferido a la coenzima FAD (similar a NAD^+).
- El **fumarato** reacciona con el agua, formando malato.
- El **malato** (ácido málico) se oxida de nuevo a oxaloacetato en el último paso de la reacción del ciclo de Krebs. El receptor del hidrógeno es nuevamente NAD^+ .
- El **oxaloacetato** se reutiliza para un nuevo ciclo.

Cadena respiratoria y fosforilación oxidativa

El $\text{NADH} + \text{H}^+$ obtenido durante la glucólisis y el ciclo de Krebs se oxida en el interior de la membrana mitocondrial con el oxígeno del aire (O_2) inspirado. La reacción equivale formalmente a la reacción de gas detonante y libera grandes cantidades de energía:



Esta energía, no obstante, no puede ser liberada de golpe, ya que se produciría una explosión en el interior de la célula, destruyéndola. Por eso la reacción se desarrolla a través de una cadena de reacciones redox bioquímicas. Durante el proceso, en la membrana interna mitocondrial se transfieren electrones entre cuatro complejos proteicos, por lo que siempre se libera únicamente una parte asumible de toda la energía de reacción. Esta energía sirve para bombear protones (iones H^+) de la matriz mitocondrial (líquido en la mitocondria) al espacio intermembranoso de la mitocondria. Los protones tienen sin embargo la tendencia a reaccionar con los electrones. Se produce un flujo de protones en el espacio intermembrana a lo largo de la membrana interna mitocondrial. El regreso de los protones a la matriz mitocondrial es controlado por la enzima ATP sintasa, que usa la energía libre para formar ATP. Este proceso se conoce como **fosforilación oxidativa**. En la matriz mitocondrial, los protones retornados y electrones reaccionan ahora de manera controlada con oxígeno, formando agua.

Resumen

Los productos de reacción del metabolismo humano –dióxido de carbono y agua– se forman en dos procesos metabólicos diferentes. Mientras que el dióxido de carbono se forma en el ciclo de Krebs, el agua no se forma hasta el final de la cadena respiratoria. Durante las reacciones en las

mitocondrias se forma además la coenzima reducida $\text{NADH}+\text{H}^+$, cuya oxidación con oxígeno suministra la energía para la síntesis de ATP.