

Zellatmung

1. Zellatmung und Gärung sind katabole (Energie liefernde) Stoffwechselwege

1.1 Der Abbau der Glucose und anderer organischer Substrate im Stoffwechsel ist exergonisch und liefert Energie für die ATP-Synthese.

2. Die Zellen müssen das ATP, das sie bei ihren Aktivitäten verbrauchen, regenerieren.

2.2 Der universelle Energieüberträger ATP treibt die Aktivitäten der Zelle an, indem es Phosphatgruppen auf verschiedene Substrate überträgt und dadurch bei diesen Veränderungen auslöst.

2.3 Damit eine Zelle weiterexistieren kann, muss sie ATP regenerieren.

2.4 Die Zellatmung geht von Glucose oder einem anderen organischen Betriebsstoff aus und liefert mithilfe von Sauerstoff letztlich Wasser, Kohlendioxid, das energiereiche ATP und Wärme.

3. Redoxreaktionen liefern Energie, indem Elektronen auf elektronegativere Atome übergehen

3.1 Nährstoffmoleküle speichern Energie in Form energiereicher Elektronen. Diese Energiequelle zapft die Zelle durch Reduktions-Oxidations-Reaktionen (Redoxreaktionen) an, bei denen die Elektronen von einer Substanz (dem Reduktionsmittel) ganz oder teilweise zu einer anderen (dem Oxidationsmittel) verschoben werden. Die Substanz, die Elektronen aufnimmt, wird reduziert; diejenige, die Elektronen abgibt, wird oxidiert.

4. Während der Zellatmung fließen Elektronen von organischen Molekülen zum Sauerstoff

4.1 In der Zellatmung wird Glucose ($C_6H_{12}O_6$) zu CO_2 oxidiert, und O_2 wird zu H_2O reduziert. Die Elektronen verlieren bei der Übertragung von den organischen Verbindungen zum Sauerstoff potentielle chemische Energie, und diese Energie treibt die ATP-Synthese an.

5. Der Elektronenfluss bei der Zellatmung verläuft kaskadenartig über NAD^+ und eine Elektronentransportkette

5.1 Die den Nährstoffmolekülen entzogenen Elektronen werden in der Regel zunächst auf NAD^+ übertragen, das dadurch zu NADH reduziert wird.

5.2 Das NADH gibt die Elektronen an eine Elektronentransportkette, die Atmungskette, weiter. Diese leitet sie in mehreren Schritten, bei denen jeweils Energie freigesetzt wird, zum Sauerstoff. Die Energie dient der oxidativen Phosphorylierung von ADP, wodurch ATP gebildet wird.

6. Zellatmung ist der Funktionskomplex aus Glycolyse, Citratzyklus und Atmungskette

6.1 Glycolyse und Citratzyklus liefern (über das NADH) Elektronen an die Atmungskette, und diese treibt die oxidative Phosphorylierung an.

6.2 Die Glycolyse läuft im Cytosol ab, der Citratzyklus dagegen in der Mitochondrienmatrix. Die Atmungskettenenzyme sind in der inneren Mitochondrienmembran lokalisiert.

7. In der Glycolyse wird Energie durch die Oxidation von Glucose zu Pyruvat freigesetzt

7.1 In der Glycolyse entstehen aus einem Glucosemolekül unter dem Strich zwei Moleküle NADH und durch Substratketten-Phosphorylierung zwei Moleküle ATP.

8. Der Citratzyklus vervollständigt die energieliefernde Oxidation organischer Moleküle

8.1 Das Bindeglied zwischen Glycolyse und Citratzyklus ist die Reaktion von Pyruvat mit Coenzym A, wodurch AcetylCoA entsteht.

8.2 Das Acetyl-CoA überträgt die Acetylgruppe (die dabei zum Acetat oxidiert wird) auf Oxalacetat, einem Molekül mit vier Kohlenstoffatomen, wodurch Citrat mit sechs Kohlenstoffatomen entsteht. Dieses wird anschließend in mehreren Schritten, die einen vollen Durchgang des Zyklus bilden, wieder in Oxalacetat verwandelt. Dabei wird Kohlendioxid abgespalten, durch

Substratketten-phosphorylierung entsteht pro Acetylgruppe ein ATP-Molekül, und Elektronen werden auf drei NAD^+ -Moleküle und ein FAD^+ -Molekül, einen weiteren Elektronenakzeptor, übertragen.

9. Die innere Mitochondrienmembran koppelt Elektronentransport und ATP-Synthese

- 9.1 Die durch den Glucoseabbau freiwerdende Energie wird zur ATP-Synthese durch oxidative Phosphorylierung verwendet. Dabei geben zunächst NADH und FADH_2 ihre Elektronen an die Atmungskettenproteine ab, welche in die innere Mitochondrienmembran eingebettet sind.
- 9.2 Der stufenweise Elektronentransport in der Atmungskette ist über die Chemiosmose an die ATP-Synthese gekoppelt. Aufgrund ihrer Anordnung verschieben die Elektronenüberträger an bestimmten Punkten der Kette während des Elektronentransports H^+ -Ionen aus der Mitochondrienmatrix in den Intermembranraum, und dabei wird Energie als Protonengradient gespeichert. Dieser ergibt zusammen mit dem Membranpotential eine protonenmotorische Kraft. Getrieben von dieser Kraft diffundieren die Protonen durch einen Kanal in der ATP-Synthase zurück in die Matrix. Dieser exergonische Protonenfluss durch den membrangebundenen Enzymkomplex treibt die endergonische Phosphorylierung des ADP an.

10. Durch die Zellatmung werden für jedes oxidierte Glucosemolekül zahlreiche ATP-Moleküle gebildet

- 10.1 Die vollständige Oxidation der Glucose zu Kohlendioxid in der Zellatmung der Eukaryoten liefert netto eine maximale Ausbeute von 36 ATP-Molekülen.

11. Glycolyse und Citratzyklus sind mit vielen anderen Stoffwechselwegen verknüpft

- 11.1 Bei der Zellatmung werden Fette, Proteine und Kohlenhydrate zur Herstellung von ATP verbraucht. Glycolyse und Citratzyklus sind also katabole Stoffwechselwege, auf denen energiereiche Elektronen von Nährstoffmolekülen aller Art über NADH beziehungsweise FADH_2 in die Atmungskette eingeschleust und so für die ATP-Synthese nutzbar gemacht werden.

- 11.2 Die Kohlenstoffgerüste für den Anabolismus stammen entweder unmittelbar aus durch die Verdauung aufgenommenen Nährstoffen oder aus Glycolyse und Citratzyklus, deren Zwischenprodukte der Biosynthese zugeführt werden.

12. Durch Gärung können manche Zellen auch ohne Sauerstoff ATP bilden

- 12.1 Gärung ist der anaerobe Abbau organischer Nährstoffe. Sie liefert ATP aus der Glycolyse.
- 12.2 Die Elektronen werden vom NADH auf Pyruvat oder ein Derivat dieses Endprodukts der Glycolyse übertragen. Dabei wird das NAD^+ , welches als Oxidationsmittel für die Glycolyse gebraucht wird, wiederhergestellt.
- 12.3 Hefepilze und manche Bakterien sind fakultative Anaerobier: Sie können ATP entweder durch aerobe Zellatmung oder aber durch Gärung herstellen. Auch bei Tieren gibt es Mechanismen der anaeroben Energiegewinnung. Was die ATP-Ausbeute je Glucosemolekül angeht, ist die Zellatmung wesentlich effizienter.
- 12.4 Die Glycolyse läuft in fast allen Lebewesen ab und entwickelte sich wahrscheinlich bei den frühen Prokaryoten, bevor Sauerstoff in der Atmosphäre zur Verfügung stand.

13. Die Zellatmung wird durch Rückkopplungsmechanismen gesteuert

- 13.1 Die Zellatmung wird an entscheidenden Punkten von Glycolyse und Citratzyklus durch Aktivierung und Hemmung allosterischer Enzyme reguliert. Diese permanente Steuerung sorgt kontinuierlich für ein ausgewogenes Verhältnis von Katabolismus und Anabolismus.