

DAS KALORISCHE ÄQUIVALENT DES ATP-UMSATZES IM AEROBEN UND ANOXISCHEN METABOLISMUS.

Erich GNAIGER

Institut für Zoophysologie, Univ. Innsbruck, Öterreich

Die direkte Kalorimetrie ermöglicht die Quantifizierung der metabolischen Aktivität von Organismen unabhängig von den spezifischen Prozessen der Energietransformation. Eine sinnvolle Interpretation direkt-kalorimetrischer Daten verlangt jedoch eine thermodynamische Analyse der biochemischen Reaktionen.

Die biologische Grundlage des Energiestoffwechsels besteht in der Ausbeutung physiko-chemischer Potentiale zur intermediären Bildung einheitlicher Energieträger (Nukleotidtriphosphate, bes. ATP). Der ATP-Umsatz stellt deshalb die zentrale bioenergetische Grösse dar, die zwischen den vielfältigen Prozessen des Katabolismus und Anabolismus als ein Mass der "biochemischen Drehzahl" vermittelt.

Aus den stöchiometrischen Beziehungen der katabolen Reaktionen und unter Annahme maximaler Koppelung der Phosphorylierung ergibt sich der molare ATP-Umsatz, N_{APT} . Für das kalorische Äquivalent des ATP-Umsatzes im Fließgleichgewicht, $C_{\text{ATP}}^{\text{S}}$ gilt

$$C_{\text{ATP}}^{\text{S}} = \frac{\Delta H}{N_{\text{APT}}} \quad [\text{kJ} \cdot \text{Mol}^{-1}] \quad .$$

Die für physiologische Bedingungen zu berechnenden ΔH -Werte (Enthalpieänderungen der jeweiligen Reaktion(en); z.B. oxikalorisches Äquivalent, kalorisches Äquivalent der Laktat-Gärung) können sich wesentlich von bombenkalorimetrisch ermittelten Werten (Verbrennungswärmen) unterscheiden. Die thermodynamischen Parameter des ATP-Systems gehen in diese Berechnung nicht ein, da im Fließgleichgewicht konstante Konzentrationen erhalten bleiben und sämtliche intermediär gespeicherte Energie als "biochemische Reibungswärme" verloren geht.

Dem einheitlichen aeroben Mechanismus der ATP-Gewinnung steht die Vielfalt energetisch gekoppelter Reaktionen (Phosphorylierung von Nukleotiddiphosphaten) der verschiedenen anoxygenen Stoffwechselwege gegenüber. So schwankt im aeroben Metabolismus $C_{\text{ATP}}^{\text{S}}$ zwischen 76 und 80 kJ pro Mol ATP, während für verschiedene anoxygenische Bedingungen Werte zwischen 32 und 69 kJ pro Mol ATP theoretisch möglich sind. Das kalorische Äquivalent des ATP-Umsatzes ist unter Anoxia immer niedriger als aerob. Im anoxygenen Stoffwechsel von Evertebraten mit Propionat- und Acetat-Gärung erreicht $C_{\text{ATP}}^{\text{S}}$ nur 50 bis 70% des aeroben Wertes. Demnach zeigen um 30 bis 50% reduzierte anoxygenische Wärmeproduktionsraten eine gegenüber aeroben Bedingungen konstant gehaltene Stoffwechselaktivität (ausgedrückt als ATP-Umsatz) an. Es führt also eine direkte Gegenüberstellung von unter verschiedenen physiologischen Bedingungen ermittelten Wärmeproduktionsraten leicht zu Fehlschlüssen bezüglich der relativen stoffwechselphysiologischen Aktivität eines Organismus.

Bei positiver Arbeitsbilanz (z.B. Gluconeogenese) können bis zu 25% der katabolen Enthalpieänderung chemisch gespeichert werden, wobei sich der Wert von C_{ATP} entsprechend vermindert. Nur bei Netto-ATP-Produktion und osmotischer Arbeit sind weit höhere kalorische Effizienzen zu erwarten. Wesentliche Unsicherheiten in den thermodynamischen Berechnungen ergeben sich jedoch besonders aus dem Einfluss der meist ungenügend bekannten Faktoren pH und ΔH^{B} (Neutralisationsenthalpie des physiologischen Puffersystems) auf die Reaktionsenthalpien. Deren Signifikanz für die kalorische Effizienz des Energiestoffwechsels sowie deren Bedeutung in der Interpretation direkt-kalorimetrischer Daten werden diskutiert.