



**Abb. 6.1:** Vereinfachtes Schema der wichtigsten Energiebereitstellungswege bei körperlicher Belastung. Die metabolische Leistungsdiagnostik stützt sich auf den Umstand, dass die Verarbeitungsrate für Pyruvat und NADH aus der anaeroben Glykolyse (aG) im Rahmen der oxidativen Energiebereitstellung (oE; blau hinterlegt) abhängig von der Ausdauerleistungsfähigkeit eines Probanden begrenzt ist. Sobald die oxidativen Prozesse mit der Glykolyserate nicht mehr Schritt halten können, erfolgt eine vermehrte Bildung von Milchsäure bzw. Laktat. Eine stärkere Laktatbildung bei gleicher Leistung wird daher als geringere Leistung des oxidativen Systems interpretiert.

**Anaerobe Glykolyse (aG):** Im Rahmen der aG erfolgt eine enzymatische Aufspaltung von Glukosemolekülen zu jeweils 2 Molekülen Pyruvat. Hierbei wird Energie in Form von ATP freigesetzt. Die aG erfordert zur ATP-Bildung keine sonstigen Substrate wie z.B. Sauerstoff und wird daher als „anaerob“ bezeichnet.

**Oxidative Energiebereitstellung (oE):** Bei der oE erfolgen ATP-Synthese und Substratoxidation unter Einsatz von Sauerstoff sowie unter Produktion von Wasser und Kohlendioxid:



Der Gebrauch von Sauerstoff steht hier also in einem exakten stöchiometrischen Ver-

hältnis zur oxidativen Produktion von ATP und der entsprechenden Menge an „metabolisch“ produziertem Kohlendioxid. Diese Prozesse sind in den Mitochondrien der Zellen lokalisiert. Unter Produktion von  $\text{NADH} + \text{H}^+$  wird dabei das Pyruvat aus der aG im Zitratzyklus weiter umgesetzt. Die eigentliche Energiegewinnung in Form der ATP-Synthese erfolgt dann in der nachfolgenden Reaktionsabfolge der Atmungskette (vgl. Kap. 2). Hier erfolgt die Bildung von 36 ATP-Molekülen pro Glukosemolekül. Dem aufgenommenen Sauerstoff steht also ein entsprechendes Quantum an synthetisiertem ATP gegenüber. Hierdurch entspricht die Sauerstoffaufnahme in der Atemgasanalyse

direkt dem Ausmaß der oxidativen Energieproduktion.

Die oE ist gegenüber der alleinigen aG durch eine geringere Energieflussrate (Energieproduktion pro Zeiteinheit) gekennzeichnet. Andererseits steht der oE eine weit höhere Stoffwechsellkapazität (Energienmenge bis zur Erschöpfung) zur Verfügung. Substrate der oE sind Glukose und Aminosäuren (höhere Energieflussrate) oder freie Fettsäuren (geringere Energieflussrate) (vgl. Kap. 2).

**Anstieg der Laktatkonzentration bei steigender Belastungsintensität:** Wird durch eine erhöhte Stoffwechselbeanspruchung die maximale Oxidationsrate überschritten, muss das verbleibende Pyruvat durch das Enzym LDH (Laktatdehydrogenase) zu Milchsäure umgesetzt werden. Durch die bereits erfolgte Glykolyse in Pyruvat werden pro Glukosemolekül 2 ATP ohne Nutzung von Zitratzyklus und Atmungskette erzeugt. Dieser Abschnitt der Energiebereitstellung wird als „anaerob“ bezeichnet, da hier die ATP-Synthese ohne Gebrauch von Sauerstoff erfolgt.

**Cave:** Eine höhere Laktatkonzentration zeigt nicht generell eine unzureichende Sauerstoffversorgung an, wie dies der Begriff „anaerob“ vielleicht suggeriert. Richtig ist vielmehr, dass die Energieflussrate der oE grundsätzlich begrenzt ist – unter Umständen auch bei reichlicher Verfügbarkeit von Sauerstoff. Wenn die oxidative Energieflussrate für die aktuelle Stoffwechselbeanspruchung überschritten wird, erfolgt eine vermehrte Umbildung von Pyruvat zu Milchsäure.

Im Rahmen der aG kann zumindest kurzzeitig eine deutlich höhere Energieflussrate als mittels oE realisiert werden. Allerdings ist die Stoffwechsellkapazität der aG deutlich geringer. Hinzu kommt, dass durch die Milchsäureproduktion oder andere Prozesse eine metabolische Azidose entsteht, durch welche

die Energiebereitstellung zunehmend rekursiv gehemmt wird. Substrate der aG sind v.a. die Kohlenhydrate, wodurch bei Inanspruchnahme der aG auch die Glykogenvorräte des Organismus schneller verbraucht werden. Auch in der gezielten Umgehung oder Einstellung derartiger Beanspruchungsformen liegt ein Ansatzpunkt der metabolischen Trainingssteuerung.

Eine höhere Laktatkonzentration wird also gefunden bei:

- ▲ höherer Beanspruchung
- ▲ identischer Beanspruchung, jedoch schlechterer Leistungsfähigkeit des oxidativen Systems
- ▲ identischer Beanspruchung, jedoch höherer Inanspruchnahme des anaeroben Systems