



Abb. 7.33: Energiegewinnung des Muskels. Der Muskel benötigt Glukose und Sauerstoff, um Energie zu gewinnen. Wasser, Kohlendioxid und Laktat bleiben nach der Oxidation übrig. [M100]

- oder es wird – wenn genügend Sauerstoff verfügbar ist – das immer noch energiereiche Pyruvat nicht als Laktat ausgeschieden, sondern über eine Serie von Reaktionen (**Zitronensäurezyklus** oder **Zitratzyklus**) vollständig zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasser zerlegt. So wird ca. 20-mal mehr ATP erzeugt.

Die **Glykolyse**, der Abbau der Glucose zu Pyruvat, dient allen Zellen zur Energiegewinnung. Sie kann sowohl als **aerober** als auch als **anaerober Energiestoffwechsel** ablaufen. Ist ausreichend Sauerstoff vorhanden, findet eine weitere Glukoseverwertung statt, indem Pyruvat über den Zitronensäurezyklus und die Atmungskette weiter zu CO_2 und H_2O abgebaut wird. Im Muskel findet die Glykolyse v.a. unter anaeroben Bedingungen statt.

Der einschränkende Faktor hierbei ist allerdings nicht die Lunge, sondern die Bereitstellung des Sauerstoffs in der Muskelfaser. Dies geschieht durch das **Myoglobin** in den Mitochondrien, den Sauerstoffträgern der Muskulatur. Durch Muskeltraining, insbesondere durch Ausdauersport, erhöht sich entsprechend die Zahl der Mitochondrien in den trainierten Muskelpartien, die Anzahl der Kapillaren und schließlich der Durchmesser der „auftrainierten“ Muskelfasern.

Aerobe Prozesse laufen nur ab, wenn Sauerstoff verfügbar ist, **anaerobe** Prozesse benötigen keinen Sauerstoff.

Während der Muskelarbeit erweitern sich die Blutgefäße im Muskelgewebe, um den Mehrbedarf an Sauerstoff zu decken. Zu Beginn einer rhythmischen Kontraktion einer Muskelgruppe entsteht in den Muskelgruppen eine **Sauerstoffschuld**, da es rund 2–4 Min. dauert, bis die Muskeldurchblutung und damit der Sauerstoffantransport dem gesteigerten Bedarf angepasst ist. Eine Sauerstoffschuld entsteht aber auch dann, wenn der Muskel in der Dauerleistungsphase mehr Sauerstoff braucht, als zugeführt werden kann.

In beiden Fällen wird ATP nicht durch den aeroben Energiestoffwechsel regeneriert, sondern durch den Abbau von Kreatinphosphat und die Glykolyse. Zwar werden ungefähr 80% des so gebildeten Laktats mit dem Blut zur Leber abtransportiert, ein Teil jedoch sammelt sich im Muskelgewebe an und muss abgebaut werden. Hierzu braucht es zusätzlichen Sauerstoff; außerdem müssen nach getaner Arbeit auch die ATP-, Kreatinphosphat- und Glykogenvorräte des Muskels aufgefüllt werden, was ebenfalls Sauerstoff erfordert. Nach Beendigung der Muskelarbeit wird die Sauerstoffschuld durch verstärkte Atmung beglichen.

Wird ein Muskel für eine längere Periode gereizt, so werden die Kontraktionen nach und nach schwächer, bis der Muskel nicht mehr reagiert. Das Unvermögen, immer weiter zu kontrahieren, wird **„muskuläre Ermüdung“** genannt und verursacht durch ungenügende Sauerstoffzufuhr, Erschöpfung der Glykogenreserven und/oder Anstieg der Laktatkonzentration. Die muskuläre Ermüdung kann auch als ein Schutzmechanismus betrachtet werden, denn ein unbegrenzter Laktatanstieg würde zu einem pH-Abfall (d.h. zu einer Übersäuerung) in der Zelle führen und sie dadurch schädigen.

Herzmuskelgewebe

Die Herzwand besteht hauptsächlich aus Herzmuskelgewebe (**Myokard**). Dieses ist quergestreift wie die Skelettmuskulatur, zeichnet sich jedoch durch einige anatomische und funktionelle Besonderheiten aus (Abb. 7.34):

- Im Gegensatz zu den vielen peripher gelegenen Zellkernen der Skelettmus-

kelzellen besitzen die meisten Herzmuskelzellen nur einen einzigen, zentral liegenden Zellkern.

- Die Herzmuskelzellen sind im Gegensatz zu den Skelettmuskelfasern unregelmäßig verzweigt und haben untereinander End-zu-End-Verbindungen, wodurch sie ein Netzwerk bilden.
- Während die Skelettmuskulatur normalerweise willkürlich kontrahiert, d.h. als Reaktion auf gewollte Nervenimpulse, kontrahiert der Herzmuskel unwillkürlich, kontinuierlich und rhythmisch, ohne auszusetzen. Dies ist die Folge einer inneren Impulsbildung im Sinusknoten (10.2.4).
- Das Herzmuskelgewebe besitzt eine hundertfach längere Refraktärzeit (ca. 300 msec) als die Skelettmuskulatur, wodurch dem Herzen eine Erholung zwischen den Herzschlägen garantiert wird. Diese lange Refraktärperiode beugt zudem einer Dauererregung der Herzmuskulatur vor, die nutzlos, ja tödlich wäre, da keinerlei Blut mehr aus dem Herzen gepresst würde.

Glattes Muskelgewebe

Glatte Muskulatur findet sich in den Wänden der meisten Hohlorgane. Ihre Kontraktionen werden unwillkürlich ausgelöst. Sie weist einige physiologisch wichtige Unterschiede zur Skelettmuskulatur auf (Abb. 7.34):

- Die glatte Muskelfaser ist beträchtlich kleiner als die Skelettmuskelfaser. Sie hat eine Spindelform, d.h., im mittleren Bereich ist sie breit, an ihren Enden läuft sie spitz zu.
- In jeder Faser befindet sich nur ein einzelner ovaler, in der Mitte liegender Kern.
- Die Fasern der meisten glatten Muskeln sind eng vermascht, um so ein kontinuierliches Netzwerk zu bilden. Wenn ein Neuron eine Faser aktiviert, so wird diese Erregung zu jeder Faser des Netzwerks geleitet. Dadurch kommt es zur wellenförmigen (*peristaltischen*) Kontraktion über viele benachbarte Fasern.
- Die Kontraktion der glatten Muskelfaser ist 5- bis 500-mal langsamer als die der Skelettmuskelfaser. Dieser Vorgang ist für viele Hohlorgane sehr wichtig, wie z.B. für die Arteriolen, den Magen-Darm-Trakt und die Harnblase.

Wie das Herzmuskelgewebe arbeitet auch die glatte Muskulatur unwillkürlich. Einige Fasern der glatten Muskulatur kontrahieren nach einem vorausgegangenen