

Die Muskulatur des Menschen

Der Aufbau der Skelettmuskulatur

Ein Skelettmuskel besteht aus ca. 0,1-1 mm dicken Faserbündeln, welche aus den Muskelfasern gebildet werden. Jede Muskelfaser ist zwischen 0,1-15 cm lang und hat einen Durchmesser von 20-100 μm . Jede Faser wird von einer elastischen Hülle, dem so genannten Sarkolemm, umgeben. Im Inneren der Faser liegen die kontraktile Myofibrillen und das Sarkoplasma.

Im Sarkoplasma befinden sich Mitochondrien, Myoglobin, Glykogen, das sarkoplasmatische Retikulum (L-System), Fetttröpfchen und transversale Tubuli (T-System).

Die Myofibrillen verlaufen parallel in Längsrichtung des Muskels. Sie bestehen hauptsächlich aus den kontraktile Eiweißfilamenten Aktin und Myosin, die durch ihre Struktur die Fibrillen in helle und dunkle Abschnitte teilen. Da sich benachbarte Myofibrillen auf gleicher Höhe nebeneinander befinden, erscheinen die Myofibrillen quergestreift.

Die farbigen "Stücke" wechseln sich ab und wiederholen sich auf der gesamten Länge. Jedes dieser "Myofibrillenstücke" wird Sarkomer genannt. Die Sarkomere sind durch einen dünnen Streifen getrennt, der sich Z-Scheibe nennt. Die Aktinfilamente sind dünne Strukturen, die auf jeder Seite der Z-Scheibe aus in die Mitte ragen. Dabei berühren sie sich aber nicht. In die dünnen Aktinfilamente hinein ragt das dickere Myosinfilament.

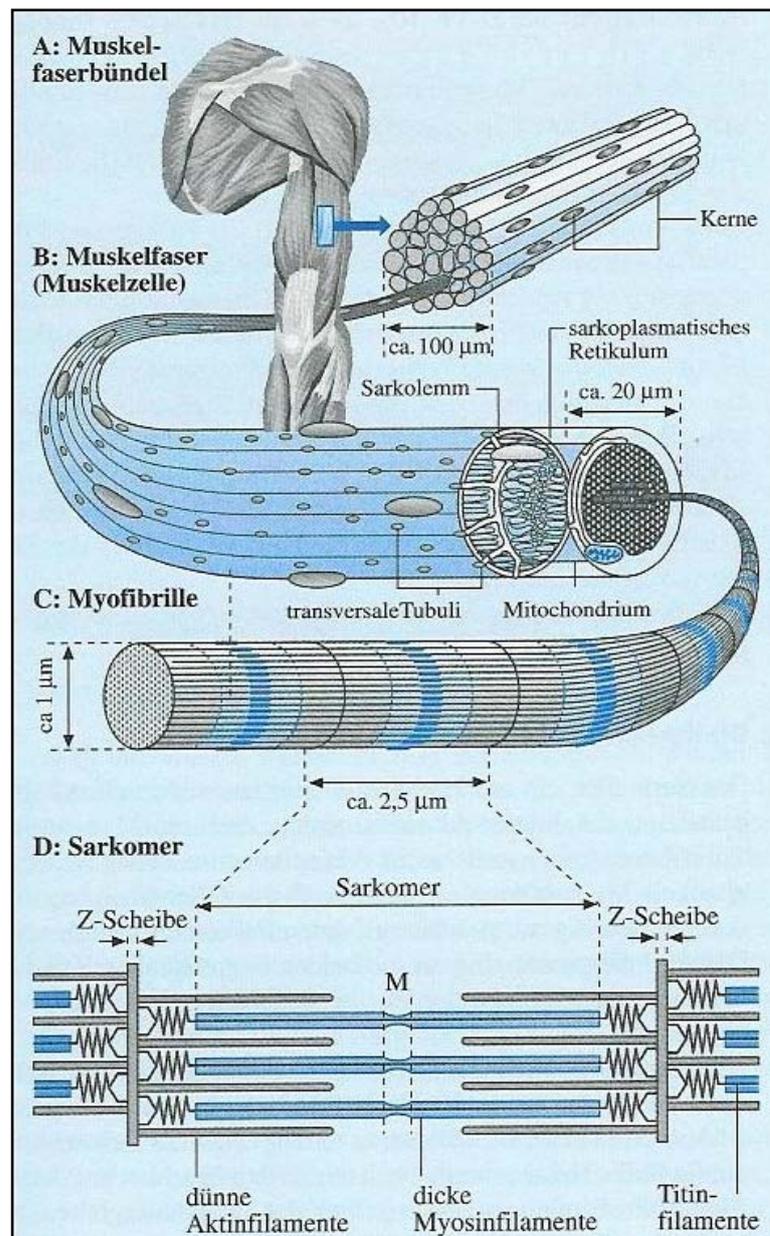


Abb. 1: Feinstruktur des Muskels¹

¹ Quelle: <http://www.uconradt.de/page8/page14/files/Aufbau%20Muskelzellen.jpg>; 19.09.2010

Aktin – Myosin – Titin

Myosin

Die dunkleren Streifen in den Myofibrillen bildet das etwa 10 nm dicke und 1,5 µm lange Myosin. Jedes Myosinmolekül besteht aus einem Kopfteil (im erschlafften Zustand ist am Kopf ATP¹ gebunden), einem Halsteil (dieser ermöglicht das Kippen des Kopfes) und einem Schafteil. Jedes Myosinfilament umfasst mehrere hundert, regelmäßig angeordnete Myosinmoleküle. Dabei liegen die Schäfte parallel zueinander, und die Myosinköpfchen ragen aus den Filamenten nach außen heraus. Jedes Köpfchen besitzt eine Bindungsstelle für ATP und eine für das Aktin.

Aktin

Ein Aktinfilament besteht aus kugelförmigen Eiweißmolekülen, die in einer Doppelspirale angeordnet sind. In ihrer Längsrinne verlaufen Eiweißfäden aus Tropomyosin (rot), an denen alle 40 nm Elemente aus Troponin (dunkelgrau) sitzen, die eine Rolle bei der Muskelkontraktion spielen. Jeweils 6 Aktinfilamente liegen in hexagonaler Anordnung um ein Myosinfilament.

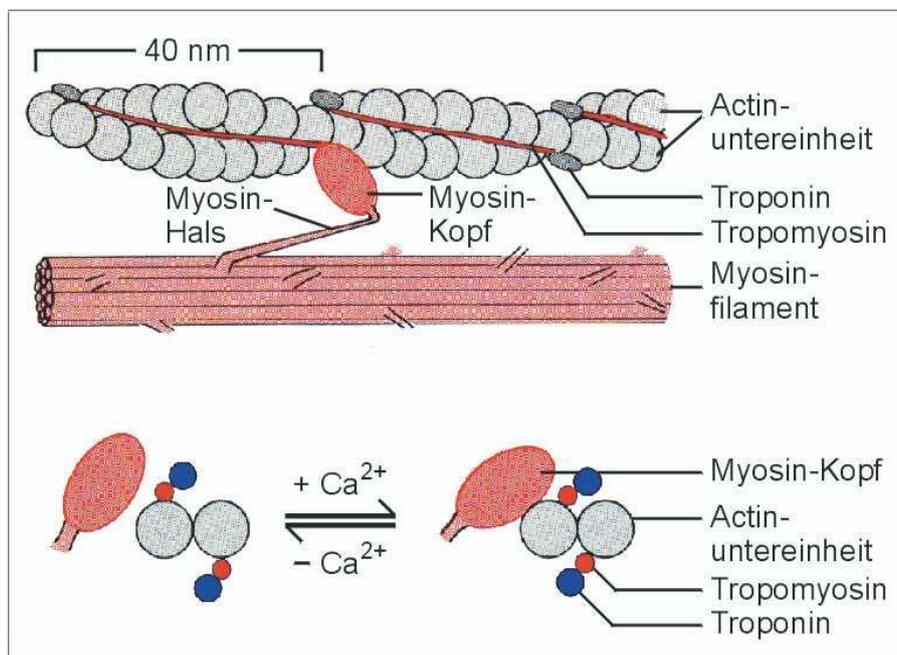


Abb. 2: Aktin und Myosin²

Titin

Das Sarkomer enthält außerdem ein elastisches Filament, welches aus dem Protein Titin besteht. Dieses ist mit dem Myosinfilament, dem M-Streifen und der Z-Scheibe verbunden. Es dient im Wesentlichen dazu, das Myosinfilament zwischen zwei Z-Scheiben zentriert zu halten.

¹ ATP: Adenosintriphosphat

² Quelle: <http://www.sinnesphysiologie.de/muskel/musk05al.jpg>; 19.09.2010

Motorische Einheit

Im Zentrum der Muskelkontraktion steht die motorische Einheit. Sie besteht aus einem Motoneuron und der von diesem Motoneuron innervierten¹ Gruppe von Muskelfasern. Motoneuron ist ein anderer Name für motorischer Nerv, der den Muskel versorgt.

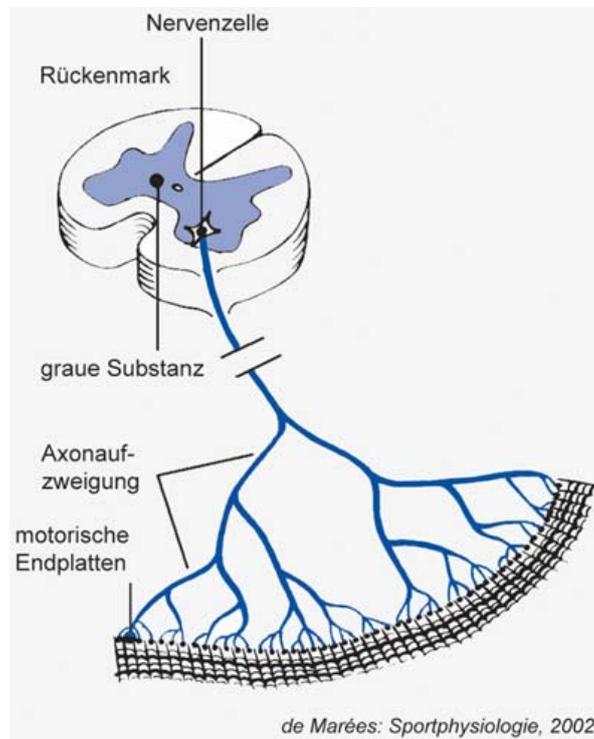


Abb. 3: Motorische Einheit

Dabei ist zu beachten, dass alle Muskelfasern, die von einer einzelnen Nervenzelle innerviert werden, auch gemeinsam (gleichzeitig) in Aktion treten.

Die Anzahl der Muskelfasern, die von einer Nervenzelle versorgt werden, ist unterschiedlich groß. Je komplexer und genauer ein Muskel gesteuert werden muss, desto weniger Muskelfasern werden von einem Motoneuron versorgt. Bei den Augen- und Fingermuskeln beispielsweise werden nur 5-15 Muskelfasern von einer Nervenzelle versorgt. Andere Muskeln wie die Skelettmuskeln der Beine, die nicht so fein gesteuert werden müssen, haben bis zu 2000 Muskelfasern in einer motorischen Einheit.

Gelangt ein Reiz über das Motoneuron einer motorischen Einheit an die dazugehörigen Muskelfasern, so kontrahiert sich diese Muskelfaser so stark sie kann. Die Stärke der Kontraktion ist nicht abhängig von der Stärke des Reizes. Es gibt entweder eine maximale Kontraktion, oder gar keine. Dieser Mechanismus wird als *All-oder-Nichts-Regel* bezeichnet. Das bedeutet aber nicht, dass ein Muskel, sagen wir mal unser Bizeps, immer nur maximal kontrahieren kann. Jeder Mensch kann an sich selbst testen, dass er den Arm durchaus langsam oder schnell, mit viel oder mit wenig Widerstand beugen kann. Der Grund dafür ist, dass der gesamte Muskel aus

¹ innervieren: anregen, reizen

vielen verschiedenen Muskelfaser und motorischen Einheiten besteht. Es werden nicht immer alle auf einmal angeregt. Die Stärke der Muskelkontraktion des einzelnen Muskels hängt deshalb davon ab, wie viele der motorischen Einheiten auf einmal zur Kontraktion angeregt werden.

Bei der Muskelkontraktion, auch bei einer maximalen Muskelkontraktion, regt das zentrale Nervensystem in der Regel immer nur einen Teil der motorischen Einheiten gleichzeitig an. So werden z. B. Ausdauerleistungen wie das Joggen oder stundenlanges Stehen hinter einer Verkaufstheke erst möglich. Ein Teil der motorischen Einheiten wird angeregt und dann schaltet das Zentralnervensystem (ZNS) innerhalb von Sekundenbruchteilen auf andere motorische Einheiten desselben Muskels um. Die Kontraktionsstärke bleibt erhalten und wir bemerken dieses "Umschalten" nicht einmal. Alle motorischen Einheiten auf einmal können aber nicht willentlich aktiviert werden, höchsten bei einem Muskelkrampf, in extremen Stresssituationen (z. B. Angst) oder durch Doping.

Wie auf der Abbildung 3 zu sehen ist, wird der Übergang von einer motorischen Nervenfasern zur Muskelfaser als motorische Endplatte bezeichnet. Die motorische Endplatte ist eine chemische Synapse mit dem Transmitter Azetylcholin. Sie besteht aus einem großen mikroskopisch sichtbaren Synapsenendknöpfchen. Es liegt an der Oberfläche der Muskelfaser an. Hier von der Nervenzelle ankommende Aktionspotentiale am präsynaptischen Teil der Synapse bewirken die Ausschüttung von Azetylcholin in den synaptischen Spalt.

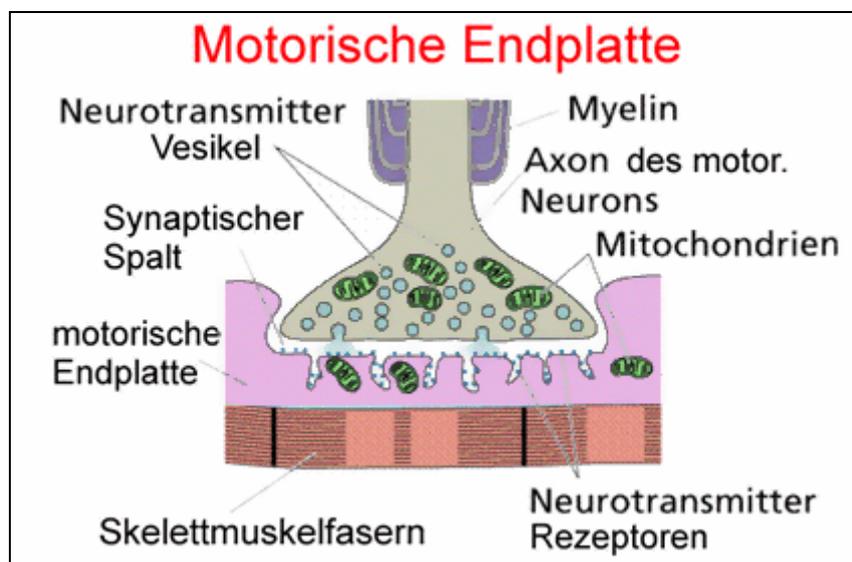


Abb. 4: Motorische Endplatte¹

¹ Quelle: <http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/bilder/mEndpl.gif>; 19.09.2010