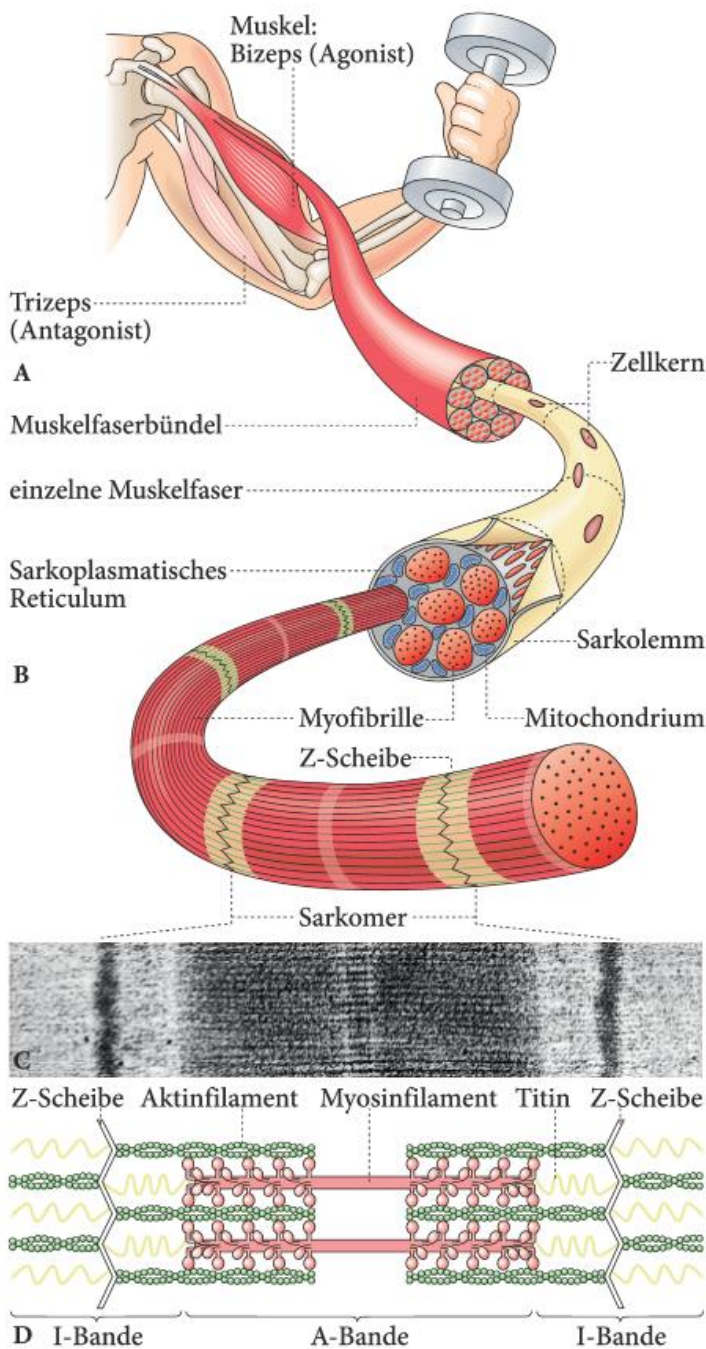


Wie funktioniert die Kontraktion von Muskeln?

1. BAU DER SKELETTMUSKULATUR



94.1 Skelettmuskulatur. A Anatomie; B Muskelfaser; C mikroskopischer und D molekularer Aufbau der Myofibrillen

Beim Hanteltraining werden die Arme gebeugt und die Muskeln im Oberarm verdicken sich. Diese Beugung ermöglicht vor allem der Bizeps im Oberarm (Abb. 94.1 A). Skelettmuskeln wie der Bizeps sind von straffen Bindegewebshüllen umgeben. Diese gehen am Ende der Muskeln meist in Sehnen über, die mit dem Knochen verwachsen sind. Jeder Muskel ist aus vielen Muskelfaserbündeln aufgebaut, die in Bindegewebe eingefasst sind. Die einzelnen **Muskelfasern** bestehen aus miteinander verschmolzenen Muskelzellen (Abb. 94.1 B). Sie enthalten deshalb viele Zellkerne. Das elektronenmikroskopische Bild der Muskelfaser zeigt ein sich wiederholendes Muster heller und dunkler Streifen (Abb. 94.1 C). Deshalb heißt dieser Muskeltyp **quergestreifte Muskulatur**.

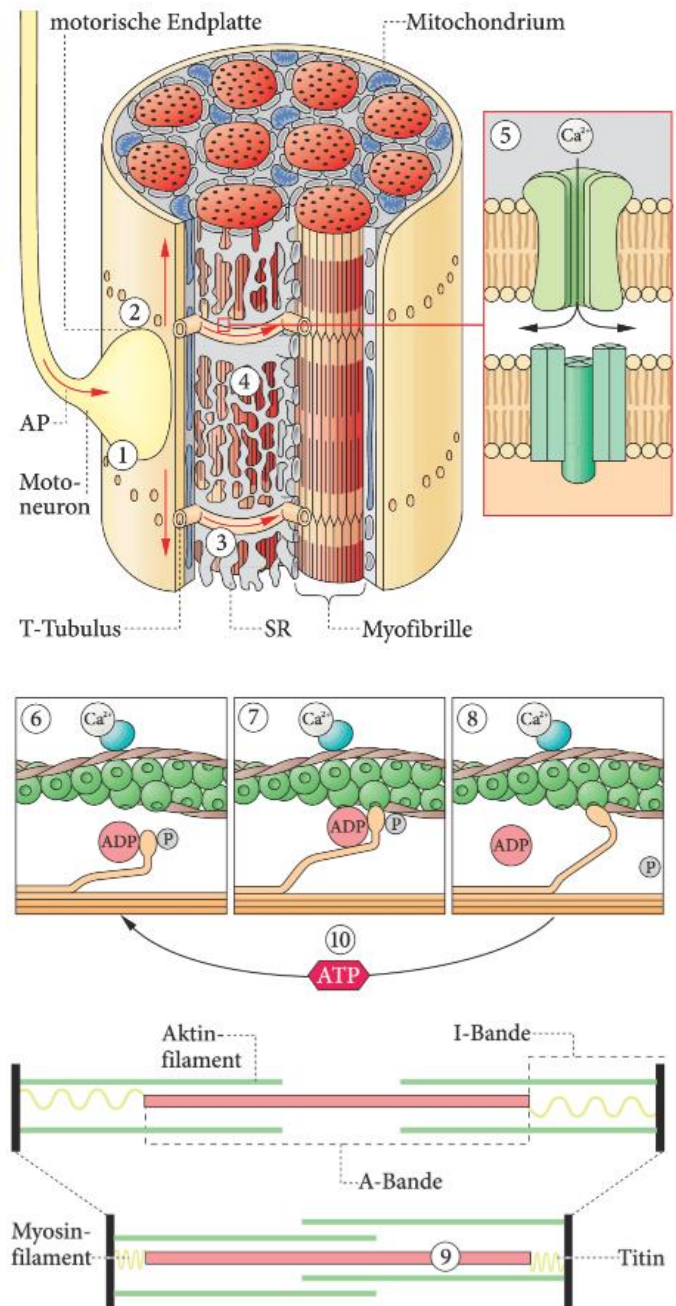
Die Querstreifen sind dunkle A- und helle I-Banden der **Myofibrillen** (gr. *mys*, Muskel; lat. *fibra*, Faser). Dies sind die kontraktile Elemente der Muskelfasern. Myofibrillen bestehen aus regelmäßig angeordneten Proteinmolekülen (Abb. 94.1 D): **Myosinfilamente** sind Bündel länglicher Myosin-Moleküle, aus denen köpfchenförmige Molekülteile an beweglichen Hälsen seitlich herausragen. In den **Aktinfilamenten** (gr. *aktinos*, Strahl) sind kugelförmige Aktin-Moleküle schraubig zu zwei Ketten verknüpft. Um diese sind wiederum zwei Tropomyosin-Stränge gewunden. Aktin- und Myosinfilamente sind an ihren Enden an den Z-Scheiben verankert. Myosinfilamente sind dabei indirekt über das elastische Protein Titin befestigt. Die Bereiche zwischen den Z-Scheiben bilden ein **Sarkomer** (gr. *sarkos*, Fleisch; *meros*, Teil). Das ist die kleinste Funktionseinheit eines Muskels. Muskelfasern werden durch efferente Nervenzellen angesteuert, die **Motoneuronen**. Alle Muskelfasern, die von einem Motoneuron angesteuert werden, bilden eine **motorische Einheit**.

2. NEUROMUSKULÄRE SYNAPSEN

Die Synapse zwischen einem Motoneuron und einer Muskelfaser ist die **motorische Endplatte** (Abbildung 95.1).

Trifft dort ein Aktionspotenzial (AP) ein, wird der Neurotransmitter Acetylcholin in den synaptischen Spalt ausgeschüttet ①. Dies löst in der postsynaptischen Membran des Muskels ein exzitatorisches postsynaptisches Potenzial (EPSP) aus (\rightarrow S. 32). Dieses EPSP heißt auch **Endplattenpotenzial (EP)** ②.

Das EP erzeugt ein AP an der Membran der Muskelfaser. Dieses AP breitet sich über ein inneres Netzwerk von Membrankanälen, den T-Tubuli, in der gesamten Muskelfaser aus ③. Die T-Tubuli-Membranen sind an vielen Stellen durch spannungsabhängige Rezeptoren mit Calciumionen (Ca^{2+})-Kanälen des **Sarkoplasmatischen Retikulums (SR)** verbunden ④. Das SR ist ein Membransystem, das dem endoplasmatischen Retikulum entspricht. Es umgibt die Myofibrillen und enthält eine hohe Konzentration an Ca^{2+} . Ein eintreffendes AP bewirkt nun über die spannungsabhängigen Rezeptoren der T-Tubuli die Öffnung der Ca^{2+} -Kanäle im SR, woraufhin Calciumionen in die Myofibrillen eindiffundieren ⑤. Die Calciumionen binden an Troponomyosin der Aktinfilamente ⑥. Daraufhin verändert sich deren Raumstruktur reversibel und Myosin-Bindungsstellen werden freigelegt. Myosin bindet an Aktin und ändert daraufhin seine Raumstruktur ⑦. Die Myosinköpfe kippen hierdurch in Richtung Sarkomermitte. Dadurch werden Myosin- gegen Aktinfilamente verschoben ⑧. Die Sarkomere verkürzen sich und mit ihnen der gesamte Muskel ⑨. Unter Verbrauch von Adenosintriphosphat (ATP) werden die Bindungen zwischen Aktin und Myosin gelöst und die Myosinköpfe richten sich wieder auf ⑩. Wenn kein neues AP eintrifft, werden die Calciumionen innerhalb von 30 Millisekunden von Ionenpumpen zurück ins SR transportiert.



95.1 Mechanismus der Skelettmuskelkontraktion