

Muskelspindel / Muskeldehnreflex / Golgi-Organ

Im Sinne des koordinierten Einsatzes der verschiedenen Muskelgruppen stellt die Steuerbarkeit natürlich eine unverzichtbare Komponente dar.

Steuerbar wird ein System nur, wenn die Steuerzentrale Information/Rückmeldung über die zu steuernde Größe erhält. D. h., die zentrale Stelle, die den Muskel zur Kontraktion bringen kann, muss zunächst Informationen darüber erhalten, in welchem Zustand sich der Muskel befindet. Als Informationsquelle dienen hierfür sog. Muskelspindeln und Golgi-Organ der Sehnen. Beide stellen Rezeptoren dar, die jede Veränderung des Muskels bezüglich Länge (Dehnung) oder Spannung registrieren und unmittelbar als Information an die Zentrale (Zentral-Nervensystem [ZNS]), hierzu gehören das Gehirn und das Rückenmark) weitergeben.

Die **Muskelspindeln** liegen parallel zu den Skelettmuskelfasern, sind aber bedeutend kürzer als diese. Sie bestehen aus 3-6 sehr dünnen quer gestreiften Muskelfasern, die sich in der Mitte etwas verdicken ($\Rightarrow$ spindelförmiges Aussehen) und hier keine Querstreifung mehr aufweisen. Die Enden der Muskelspindeln sind sehnig und verankern sich im Bindegewebe, das die Skelettmuskelfasern umgibt.

Diese Lage hat zur Folge, dass die Muskelspindel jede Längenveränderung der umliegenden Muskelfasern mitvollziehen muss. Da der Mittelteil der Spindelfasern nicht kontraktile und kaum dehnbar ist, "wehrt", sich die Muskelspindel gegen jede Dehnung. "Wehren" kann sie sich aber nur, indem sie an die Zentrale meldet, dass sie gereizt wird. Die Abb. 2/7 bzw 36 stellen dar, dass die Meldung mittels Nervenleitung (Ia-Faser, bei anderen Autoren AI- genannt, Leitungsgeschwindigkeit 80-120 m/s) an das Rückenmark erfolgt.

Die Ia-Faser verläuft also vom nicht-kontraktilen Mittelteil ihrer Muskelspindel ausgehend zum Rückenmark. Sie tritt als afferente Faser von dorsal (hinten) im Bereich des sog. Hinterhorns in das Rückenmark ein. In Höhe ihrer Eintrittsstelle liegt im sog. Vorderhorn diejenige motorische Nervenzelle, die exakt die Skelettmuskelfasern zur Kontraktion veranlassen kann, die im selben Muskel liegen, aus dem die Dehnungsmeldung kommt.

Die Ia-Faser gibt ihren Impuls an das Motoneuron weiter, das diesen Reiz sofort über seinen Neuriten (= efferente Faser) auf alle seine motorischen Endplatten weitergeht.

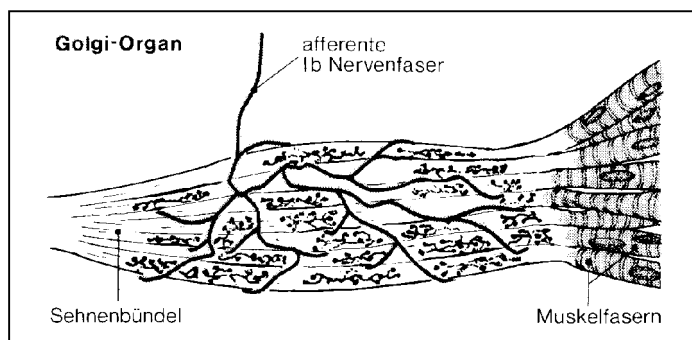
Diese depolarisieren ihre Muskelfasern, und es kommt zur Kontraktion. Die Zeit zwischen Reizung der Muskelspindel und Kontraktion der Muskelfasern heißt *Reflexzeit*, sie beträgt ca. 9-23 ms. Die mit der Kontraktion eingeleitete Verkürzung der Muskelfasern lässt den auf die Muskelspindel ausgeübten Dehnungsreiz abklingen. Die Ia-Faser reizt damit nicht mehr das Motoneuron, und die Kontraktion der Muskelfaser wird beendet.

Jede **Dehnung** hat also eine über die Ia-Fasern der Muskelspindeln induzierte Aktivierung der Motoneurone zur Folge. Die Muskelspindeln können aber ihrerseits durch sog. γ -Fasern aktiviert werden, was zu einer Verkürzung der kontraktilen Fasern der Muskelspindeln führt. Hierdurch wird die Empfindlichkeit des nicht-kontraktilen Mittelstückes der Muskelspindeln erhöht, was schon bei geringer Dehnung des Muskels eine Zunahme der exzitatorischen Reize über die Ia-Fasern auf die Motoneurone bewirkt.

Je stärker die Dehnung des Muskels, desto mehr Muskelspindeln werden gereizt und desto intensiver feuern die Ia-Fasern der Muskelspindeln und veranlassen den Muskel zur Kontraktion.

Wird aber ein bestimmtes Maß der Dehnung überschritten, unterbleibt die reflektorisch ausgelöste Kontraktion plötzlich. In diesem Fall wurden die **Golgi-Organ** (= Sehnenrezeptoren) aktiv. Sie liegen im Bereich der Sehnen und sind in Serie geschaltet, so dass sie jede Spannungsänderung des Muskels in ihrer Auswirkung auf die Sehnen registrieren. Die afferenten Fasern (AII, oder Ib) der Golgi-Organ nehmen den gleichen Verlauf wie die Ia-Fasern der Muskelspindeln, lösen bei ihrer Reizung aber keine Erregung, sondern eine Hemmung des Motoneurons aus. Auf diese Weise *unterbinden* sie die Kontraktion der zugehörigen Muskelfasern (vgl. *Stretching-Wirkung*).

Diese reflektorische Hemmung der Muskelkontraktion verhindert, dass die Sehne bei Dehnung des Muskels übermäßig beansprucht wird, und ermöglicht, auf die Dehnungsreserve der Muskelfaser zurückzugreifen. In gleicher Weise reagieren die Golgi-Organ auch bei starker Kontraktion auf die zunehmende Verkürzung des Muskels. Da die Verkürzung des Muskels die Sehne beansprucht, ist es als eine Schutzreaktion anzusehen, wenn ab einer gewissen Beanspruchung der Dehnfähigkeit der Sehne eine reflektorische Hemmung bei weiterer Muskelkontraktion ausgelöst wird. Die hier dargestellte Aufgabe der Muskelspindeln und Golgi-Organ kann leicht durch gezielte Dehnungsreize demonstriert werden. Bekannt ist der Patellarsehnenreflex wobei häufig vergessen wird, dass nicht der Reflex als »schnelle Kontraktion« die enorme Bedeutung der Muskelspindelwirkung ausmacht, sondern die durch sie eröffnete Möglichkeit, ständig Informationen über den Muskel an das ZNS leiten zu können.



Die **Golgi-Organ** sind die **Spannungsfühler der Sehnen**. Sie reagieren auf große Spannungsänderungen des Muskels und lösen eine Hemmung des Muskels aus

Die **Muskelspindeln** sind **Dehnungsrezeptoren des Muskels**. Sie reagieren auf schnelles Dehnen und bewirken die Auslösung des Muskeldehnreflexes.

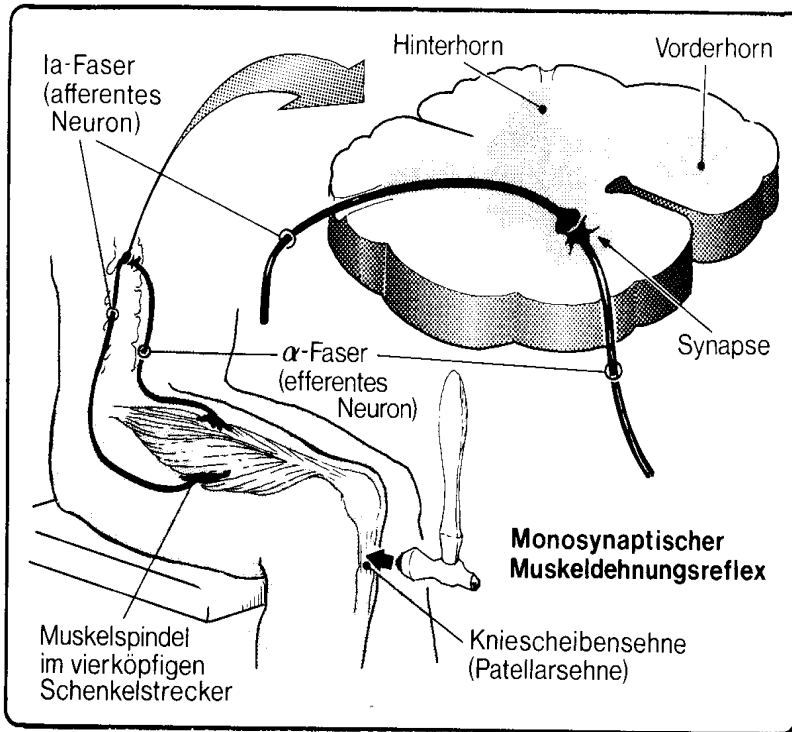


Abb. 2/7: Muskeldehnungsreflex

Dehnt man den vierköpfigen Schenkelstrecker dadurch, dass man die Kniescheibe beklopft, kommt es zu einer reflektorischen Kontraktion des Muskels, wodurch der Unterschenkel kurzzeitig gestreckt wird. Der wirksame Reiz ist die Dehnung des Muskels, der über muskeleigene Sinnesorgane – die sogenannten Muskelspindeln – erkannt wird. Da Rezeptor (Muskelspindel) und Effektor (extrafusale Muskelfasern) im gleichen Muskel liegen, bezeichnet man den monosynaptischen Muskeldehnungsreflex auch als Eigenreflex.

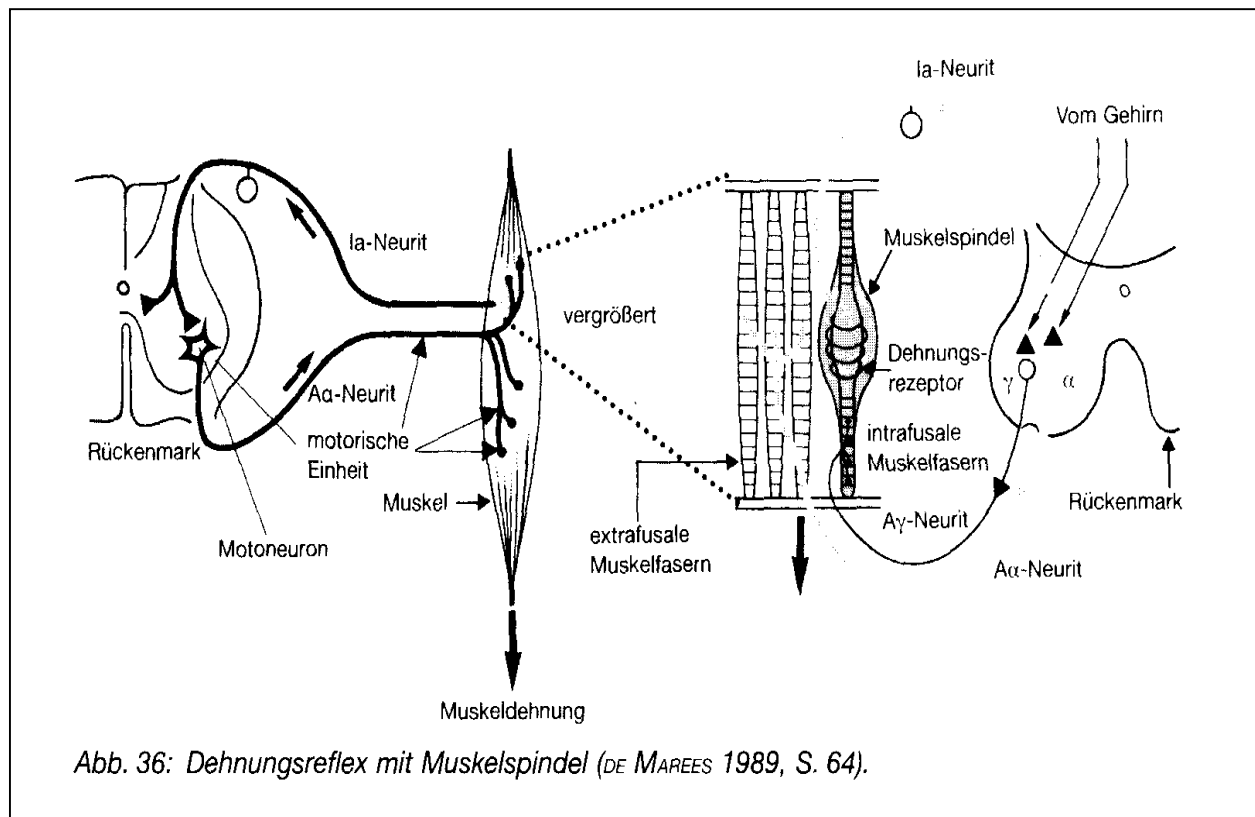
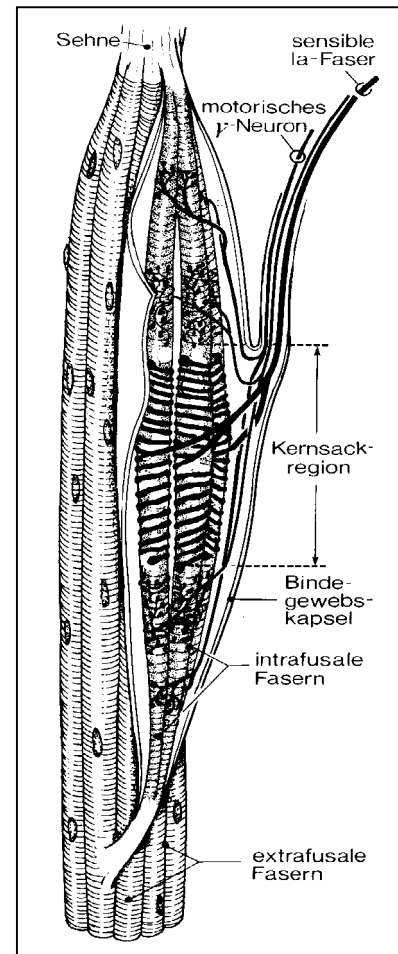


Abb. 36: Dehnungsreflex mit Muskelspindel (DE MAREES 1989, S. 64).

Merke:

afferente Nervenfasern = zum ZNS hinführende sensorische bzw. sensible Leitungen

efferente Nervenfasern = aus dem ZNS hinausführende effektorische Leitungen