

Berufsschullehrer Urs Geiger: Können Gelenke mit Krafttraining «entlastet» werden?

Mit Krafttraining Gelenke und Wirbelsäule entlasten. Diese Aussage wird häufig im Zusammenhang mit zu erwartenden positiven Wirkungen von Krafttraining geäußert.



Von Urs Geiger

Im Falle von schmerzhaften Gelenks- oder Wirbelsäulenerkrankungen scheint die Vorstellung von *Entlastung* besonders attraktiv. Mit Entlastung wird dabei eine Druckabnahme in Gelenken und / oder Bandscheiben assoziiert. Wenn von dieser unreflektierten Annahme ausgegangen wird, dann muss die genannte

Aussage als *nicht richtig* entkräftet werden. Der nachfolgende Beitrag soll dieser Aussage auf den Grund gehen und dabei Entstehung, Wirkung und funktionelle Bedeutung von Belastung aus anatomischer und biomechanischer Sicht beleuchten.

Von was gehen wir aus?

Beim Krafttraining wird korrekterweise davon ausgegangen, dass die zu trainierende Muskulatur gegen mittlere, hohe oder sehr hohe Widerstände arbeiten muss. Diese Widerstände, physikalisch als äussere Drehmomente wirksam, können überwunden oder kompensiert (neutralisiert) werden, wenn die beanspruchte Muskulatur entsprechend hohe (innere) Drehmomente in entgegengesetzte Richtung erzeugt.

Wie entsteht Kompression in Gelenken?

Die Drehmomentkräfte der Muskulatur entstehen bekanntlich durch aktive Kontraktion aller in Serie geschalteten Sarkomere der Myofibrillen. Die daraus resultierende Muskelverkürzung wird über

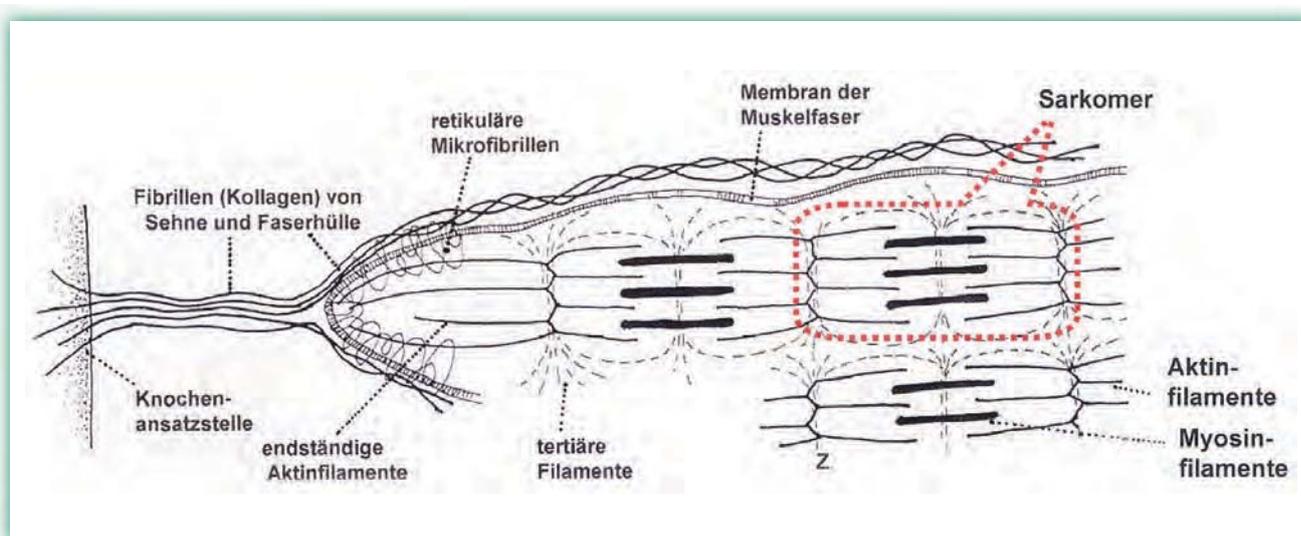


Abb.1: Filamentäre Struktur der Muskelfaser (Wiemann 1998). Über die endständigen Aktinfilamente wird der Übertrag der Kontraktionskraft auf die kollagenen Fibrillen von Sehne und Faserhülle sichergestellt; dabei sorgen retikuläre Mikrofibrillen für den zirkulären Zusammenhalt von Muskelfasermembran und Endomysium.



umhüllende bzw. durchziehende bindegewebige Strukturen wie Epimysium, Perimysium, Endomysium, Titin und Nebulin über die von ihnen gebildete Sehne oder Aponeurose als Zugkraft wirksam.

Die über das Filamentgleiten vermittelte Verkürzung der Sarkomere führt zu einer Annäherung der randständigen Z-Scheiben (Abb. 1). Die Spannungsübertragung erfolgt über das angrenzende endständige Aktin auf *Dystrophin*, welches wiederum mit dem in die Muskelfasermembran eingebauten *Integrin* verbunden ist. Das vom Integrin ausgehende *Fibronectin* seinerseits verbindet sich mit den extrazellulären Kollagenfasern des Endomysium. Damit kann die durch Kontraktion erzeugte Zugkraft der Muskelfasern wirksam auf Sehne oder Aponeurose geleitet werden. Über deren Ursprungs- oder Ansatzbereich wird diese Zugkraft üblicherweise auf den entsprechenden Knochen übertragen. Besondere anatomische Varianten sind aponeurotische Verbindungen mit Faszien benachbarter Muskeln (vgl. fascia thorakolumbalis mit *M. latissimus dorsi* und *M. gluteus maximus*).

Die vektorielle Darstellung am biomechanischen Modell ermöglicht die Berechnung aller relevanten Kräfte bei bekannter Gewichtslast und Länge der Hebelarme. Damit soll exemplarisch die Frage nach der möglichen Gelenkentlastung durch Muskelkraft rechnerisch beantwortet werden (vgl. Abb. 2).

Oberarm und Unterarm schliessen einen Beugewinkel von 135° ein; unter der Annahme, dass die Kurzhantel (10 kg) in der beschriebenen Armbeugstellung isometrisch gehalten wird, beträgt das erforderliche Drehmoment der Armbeuger 510 Nm [Berechnung: bei einer Unterarmlänge von 30 cm bzw. einem effektiven Lastarm von 26 cm und einem angenommenen Kraftarm von 5 cm gilt die Gleichung gemäss Hebelgesetz: $RM = 10 \text{ kg} (\approx 98 \text{ N}) \times 0.26 \text{ m} / 0.05 \text{ m} = 510 \text{ N}$ (vgl. RM). Wenn der Winkel α zwischen FR und FG 50° beträgt, dann berechnet sich FG wie folgt: $RM \times \cos(50^\circ) = 328 \text{ N}$; entsprechend ergibt sich für FD ein Moment von 391 N [(FR) $\times \sin(50^\circ)$]. ▶

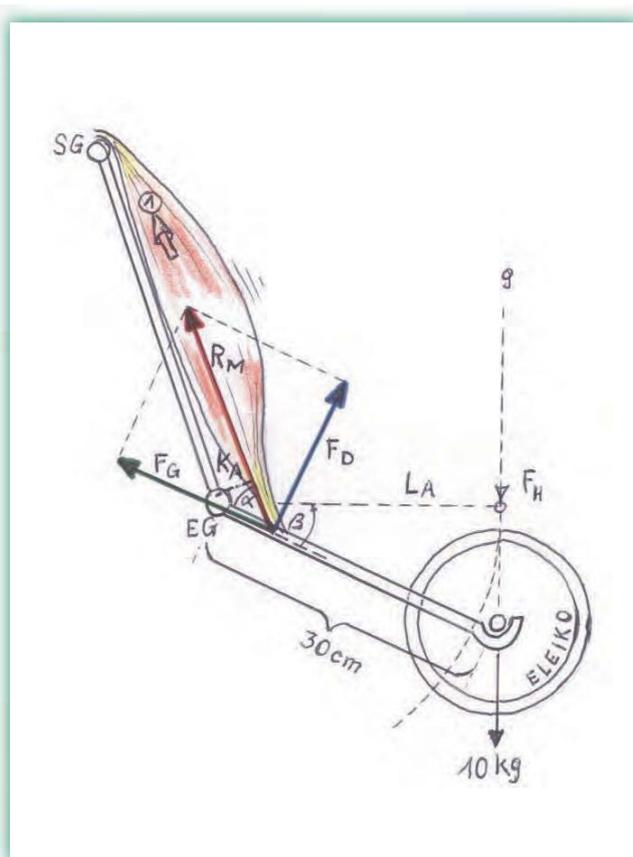


Abb. 2: SG = Schultergelenk, EG = Ellenbogengelenk, (1) Richtung der Zugkraft (Armbeuger), FD = Vektor des flexorischen Drehmoment, FG = Vektor der kompressorischen Gelenkkomponente, RM = Resultierende der Armbeuger, FH = Gewichtskraft, LA = Lastarm, KA = Kraftarm, Winkel α (50°), Winkel β (25°)

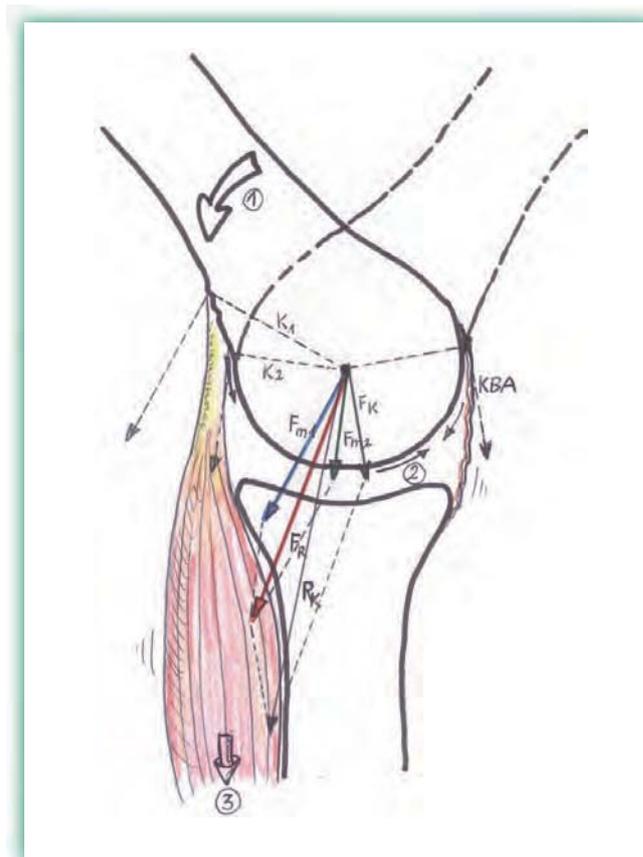


Abb. 3: (1) anguläre Bewegungsrichtung des konvexen Gelenkpartners; (2) Gleitrichtung gemäss Konvexregel; (3) = Zugrichtung des Muskulatur; KBA = Kapsel-Bandapparat K1 und K2 = Differenzierung der Muskelkraft in zwei insertionsbedingte Kraftarme; Fm1 = Kraftvektor aus K1; Fm2 = Kraftvektor aus K2; FR = Resultierende der Muskelkraft; FK = Kraftvektor aus Kapselspannung; RK = Resultierende Kompressionskraft aus gesamten Arthromuskulären Komplex.

Praktische Schlussfolgerung

Wenn bei der Übung «biceps curl» eine Kurzhantel von 10 kg bewegt wird, muss die Armbeugemuskulatur ein Drehmoment von mehr als 510 Nm erzeugen; dies entspricht einer Zugkraft, die etwa dem Fünffachen der Gewichtskraft der Hantel entspricht. Dabei wird – bezogen auf die dargestellte Beugstellung – v.a. über die Ulna auf das Ellbogengelenk eine Kompressionskraft von rund 42 kg (früher Kilopond) ausgeübt.

Weil der die Zugkraft darstellende Vektor (Rm) nicht durch den Gelenkmittelpunkt verläuft, entsteht ein Drehmoment, welches bei isotonisch konzentrischer oder exzentrischer Muskelarbeit eine anguläre Bewegung im entsprechenden Gelenk ermöglicht oder – bei isometrischer Muskelarbeit – verhindert.

Aufgrund dieser biomechanischen Konstellation wird verständlich, dass muskuläre Aktivität in den überbrückten Gelenken primär Druck erzeugt. Dieser wiederum kann in eine Kompression

sionskraft und Scherkraft zerlegt werden. Mit zunehmender Beugung reduziert sich FG gegen null.

Gelenkmechanische Bedeutung der Druck erzeugenden Muskeln bei angulärer Bewegung

Für eine störungsfreie Gelenkfunktion müssen alle beteiligten Muskeln die beiden Gelenkpartner gemäss der Konkav- bzw. Konvexregel in einem gelenkspezifischen Verhältnis von *Rollen* und *Gleiten* gegeneinander führen (vgl. Abb. 3). Kompression ist dabei eine essenzielle intraartikuläre Kraft, welche den genannten Roll-Gleitmechanismus in echten Gelenken möglich macht. Unter dieser biomechanischen Betrachtung wird verständlich, dass Belastung in Form von Druck für das arthromuskuläre Gleichgewicht unverzichtbar und in diesem Kontext eine Reduzierung nicht erwünscht ist.

Gemäss Konvexregel (vgl. Kugelgelenk) rollt der konvexe Gelenkpartner in die Bewegungsrichtung (1) und gleitet in die Gegenrichtung (2); dieser Mechanismus wird unter anderem durch den Kapsel-Bandapparat (KBA) ermöglicht, indem die mit der angulären Bewegung zunehmenden Spannung ein Moment in die Gegenrichtung erzeugt; die Kompressionskraft im Gelenk (RK) erhöht sich damit gemäss Σ (Summe) aus FR und FK.

Bei der selektiv berechtigten Forderung, Gelenke und / oder Wirbelsegmente unter besonderen Umständen vor potenziell schädigenden Biege- und Scherkräften zu schützen, wird bekannterweise die gelenksichernde Funktion von Kompressionskräften nicht in Frage gestellt.

Diskutiert und berücksichtigt werden muss aber diese physikalische Grösse unter eingeschränkter (Gelenk-)Belastbarkeit der beanspruchten Gelenkstrukturen. Am Beispiel der Gelenkarthrose mit verminderter Toleranz gegenüber Druck- und Scherkräften sind die erforderlichen Kraftübungen selbstverständlich so zu wählen, dass die strukturell eingeschränkte Belastbarkeit berücksichtigt wird. Klinische Zeichen wie Schwellung und Schmerz(-zunahme) sind klare Hinweise darauf, dass die Belastungsgrenze überschritten wurde, oder um es positiv auszudrücken, Kraftübungen können dann ausgeführt werden, wenn ein Belastungsschmerz die 4 auf einer VAS-Skala nicht überschreitet und nach Abbruch der Übung nicht mehr weiter andauert. ◀

Take home message:

- Muskelaktivität führt immer zu einer *Druckbelastung* in den überbrückten Gelenken, d.h. mit Krafttraining können Gelenke oder die Wirbelsäule nicht im eigentlichen Sinne «entlastet» werden.
- Kompression ist eine physiologische Belastungsgrösse, welche im genotypischen Rahmen als Voraussetzung für zelluläre Syntheseaktivität (→ Gewebeumbau und -neubildung) verstanden wird.
- Repetitiver Druckaufbau und -abbau sind wesentlich für die Ernährung bradytropher Strukturen (z.B. hyaliner Gelenkknorpel oder Faserknorpel der Bandscheiben) verantwortlich, indem deren Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen über Erhöhung der Diffusionsprozesse wirksam unterstützt wird.
- Genügend grosser Druck auf das Drehzentrum des Gelenkes, im Sinne aktiver Zentrierung, kann die Gelenkstrukturen vor unerwünschten Scher- und Biegekräften schützen (bei einer ausreichenden aktiven Stabilisation heben sich alle auf das Gelenk einwirkenden Drehmomente gegenseitig auf, es herrscht «Ruhe» im Drehpunkt).
- Entlastung ist insbesondere bei entzündlichen Prozessen temporär angezeigt.

Literatur

- Frisch H: **Programmierte Therapie am Bewegungsapparat**, Springer-Verlag 1995
- Geiger U: **Therapie funktioneller Dysbalancen mit Kleingeräten**, Urban & Fischer 2016
- Schröder Gunther U: **Physik für MTA**, Thieme 1984
- Wiemann K: **Arthromuskuläre Balance und aufrechte Haltung (Präsentation zum Selbststudium)**, Bergische Universität Wuppertal 2013

Text

- Urs Geiger, PTScFH, CAS CADM, CAS Sportphysiotherapie, Berufsschullehrer HWS Huber Widemann Schule Basel, langjähriger Berufsbildner, Praktikumslehrperson DZ, ETH Zürich, Buchautor.