

7 Biomechanische Aspekte

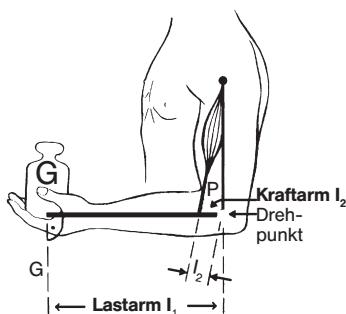


Abb. 24: Der Unterarm als einarmiger Hebel (DE MAREES 1989, S. 109).

Lastarm: Wirkungslinie der Last in senkrechttem Abstand zur Drehachse.
Kraftarm: Wirkungslinie des Muskels in senkrechttem Abstand zur Drehachse.

Um besser verstehen zu können, welche Kräfte ein Muskel beim Heben einer Last aufbringen muß, ist die Wirkungsweise des Hebelgesetzes von grundlegender Bedeutung. Ein Hebel ist dabei eine Stange, die sich um eine Drehachse dreht und dabei ein sogenanntes Drehmoment erzeugt. In Abbildung 24 ist der Lastarm I_1 zu sehen, der als rechtwinkliger Abstand zwischen der Wirkungslinie des Muskels und der momentanen Drehachse definiert ist. Das Drehmoment der Last in diesem Beispiel lässt sich folgendermaßen berechnen: Wiegt die Last G 10 kg, so wirkt eine Kraft von ca. 100 Newton [N] Richtung Boden. Bei einer Hebellänge von 30 cm beträgt das Drehmoment der Last $M = 100 \text{ N} \times 0,3 \text{ m} = 20 \text{ Nm}$. Um das Gewicht im Gleichgewicht zu halten, muß das entgegengesetzte Drehmoment der Kraft genau so groß sein, denn es gilt das Hebelgesetz: „Am Hebel herrscht Gleichgewicht, wenn das Drehmoment der Last gleich dem Drehmoment der Kraft ist“.

Bei einem angenommenen Abstand des Kraftarms I_2 vom Drehpunkt von 3 cm muß eine Kraft von 1000 N aufgebracht werden, damit die Kugel nicht herunterfällt. Die Länge des Kraftarms besteht dabei aus der Entfernung der Wirkungslinie des M. biceps vom Drehpunkt Ellbogen. Aus der Gleichung Kraft \times Kraftarm = Last \times Lastarm ergibt sich nach der Kraft aufgelöst: Kraft = Last (100 N) \times Lastarm (0,3 m) geteilt durch Kraftarm (0,03 m) = Last \times 10 = 1000 N. Da der Lastarm zehnmal so lang ist wie der Kraftarm, muß der Muskel eine zehnfache Kraft aufbringen, um der Gewichtskraft entgegenwirken zu können (s. Abb. 25).

Zu den Maßeinheiten: Wiegt ein Körper 10 kg ist die Anziehungs Kraft der Erde auf den Körper 10 Kilopond [kp] oder 100 N. Exakt gerechnet entspricht 1 kp dabei 9,81 N, die Aufrundung erfolgt nur aus Gründen der Vereinfachung.

Hebelgesetz

$$\text{Kraft} = \frac{\text{Last} \times \text{Lastarm}}{\text{Kraftarm}} = \frac{100 \text{ N} \times 0,3 \text{ m}}{0,03 \text{ m}} = 1000 \text{ N}$$

Abb. 25: Drehmoment am Ellbogen beim Halten eines 10 kg schweren Gewichts: Kraft des M. biceps = Last in der Hand x Lastarm (0,3 m) geteilt durch Kraftarm (0,03 m) = Last x 10 = 1000 N.

Bei einer zunehmenden Beugung im Ellbogengelenk verkürzt sich der Lastarm, d.h. der senkrechte Abstand zwischen Wirkungslinie der Last und dem Drehpunkt; der Kraftarm wird länger (vgl. Abb. 26). Bei konstanter Last L verkürzt sich der M. biceps von Stellung I nach Stellung II. In Stellung II ist der Lastarm a_2 kleiner als der Lastarm a_1 in Stellung I. Dafür wird der Kraftarm b_2 größer als der Kraftarm b_1 in Stellung I, d.h. das Drehmoment der Kraft wird größer.

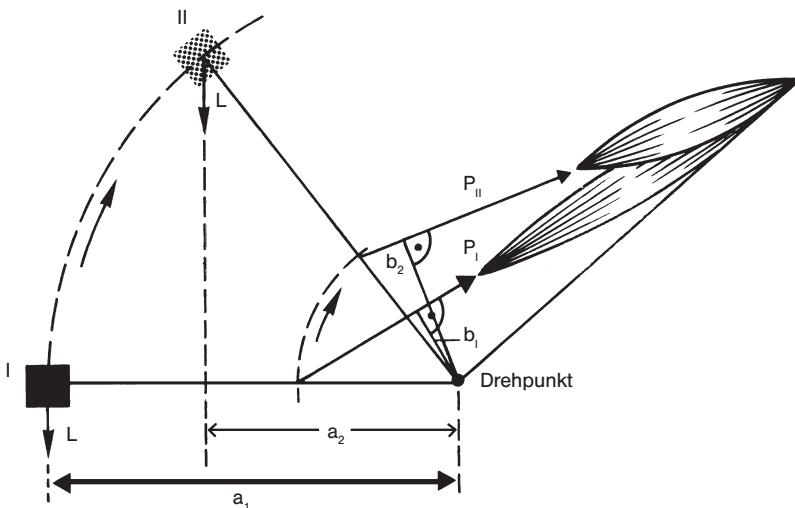


Abb. 26: Änderung der Drehmomente bei der Beugung im Ellbogengelenk. Der M. biceps verkürzt sich von Stellung I nach II bei konstanter Last L. Obwohl die Muskelverkürzung zur Verbesserung der Anschaulichkeit zu groß gezeichnet ist, wird deutlich: Kleine Muskelverkürzung \Rightarrow großer Bewegungsausschlag der Last. In Stellung II (gebeugt) ist der Lastarm a_2 kleiner, der Kraftarm b_2 größer als in Stellung I; d.h., das Drehmoment der Last $D_L = L \times a$, wird kleiner, das Drehmoment der Kraft $D_K = P \times b$ wird größer (günstigeres Hebelverhältnis) (DE MAREES 1989, S. 110).

Beispiele aus der Praxis

Eines der empfindlichsten Gelenksysteme des Körpers ist die Wirbelsäule, die nicht nur im Sport hohen Belastungen ausgesetzt ist. Schon bei alltäglichen Beanspruchungen wie Stehen, Gehen oder Sitzen ist sie erheblichen Druck-

Richtige Hebetechnik beim Aufheben einer Last

- Rücken gerade halten (zwecks gleichmäßiger Druckbelastung der Zwischenwirbelscheiben),
- Kopf hoch, Blick nach vorn gerichtet,
- Last dicht am Körper anheben (kurzer Lastarm),
- Vorspannung durch Anspannen der Bauchmuskulatur und Pressatmung (entlastet die Wirbelsäule).

belastungen ausgesetzt. Vor allem die Zwischenwirbelscheiben, die sogenannten Bandscheiben, werden durch das Gewicht der über ihnen liegenden Körpermasse zusammengepreßt. Um eine möglichst geringe Belastung der Bandscheiben zu erreichen, muß beim Heben einer Last darauf geachtet werden, daß das Gewicht nahe am Körperschwerpunkt nach oben gebracht und der Rücken dabei gerade gehalten wird. Beim Heben des Gewichts mit rundem Rücken werden die Bandscheiben unsymmetrisch belastet und die Gefahr der Sprengung des Faserrings der Bandscheibe, vor allem bei hohen Lasten, ist relativ groß. Wie groß der Unterschied zwischen richtiger und falscher Hebetechnik ist, zeigt Abbildung 27: Statt 2020 N bei symmetrischer Bandscheibenbelastung wirken 7137 N einseitig auf die Bandscheibe, wenn mit einem „Rundrücken“ eine Last von 50 kg gehoben wird. Die Belastung der Wirbelsäule kann durch Einsatz der Bauchmuskulatur weiter verringert werden. Durch Schließen der Atemwege („Pressen“) und Anspannen der Bauchmuskulatur wird der gesamte Rumpf zu einer „blähbaren Struktur“ gemacht, was zu einer erheblichen Entlastung der Wirbelsäule führt (siehe Abb. 28).

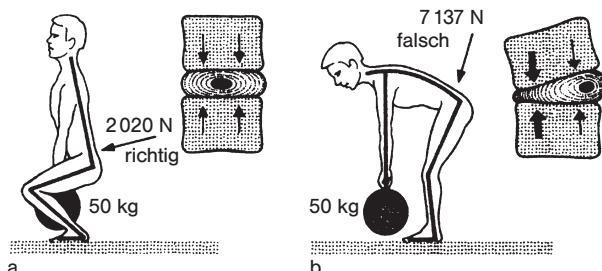


Abb. 27: a) Physiologische = ökonomische und symmetrische Bandscheibendruckbelastung bei der Gewichtsarbeit; b) Unphysiologische und asymmetrische Bandscheibendruckbelastung bei der Gewichtsarbeit (SCHMIDT 1988, S. 62).

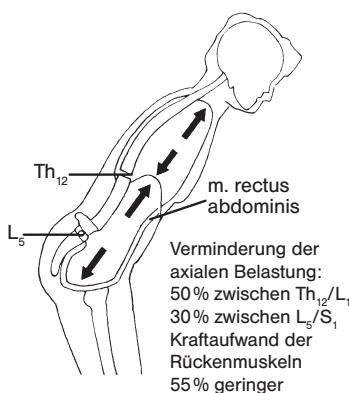


Abb. 28: „Rumpf als blähbare Struktur“ zur Entlastung der Wirbelsäulenbeanspruchung (GROSSE u. a. 1987, S. 152).

Nach Berechnungen von KAPANDJI (1984, S. 100) wird die Belastung zwischen dem 12. Brustwirbel und dem 1. Lendenwirbel um ca. 50% reduziert. Zwischen dem 5. Lendenwirbel und dem Kreuzbein geht die Belastung um etwa 30% zurück. Dies funktioniert natürlich nur bei entsprechend auftrainierter Bauchmuskulatur und zeigt die Bedeutung der Rumpfmuskulatur bei sämtlichen Hebetechniken. Zudem muß unbedingt die Beckenbodenmuskulatur angespannt werden, um den Druck im Bauchraum aufrecht zu erhalten (siehe unteren Pfeil in Abb. 28).

Beispiele

Ein weiteres Beispiel für die Stabilisationsarbeit der Muskulatur zeigt Abbildung 29. Bei allen einbeinigen Belastungen wie Gehen, Laufen oder Springen, müssen die Abduktoren des Standbeins die Hüfte so stabilisieren, daß sie nicht zur Seite abkippt. Dabei wirken schon beim Gehen Kräfte, die das 2,2fache des Körpergewichts betragen, beim Laufen oder Springen sind diese entsprechend höher. Ungenügend trainierte Abduktoren können nicht nur zu Fehlbelastungen auf das Becken führen, sondern z.B. auch eine kompensatorische Seitneigung der unteren Wirbelsäule hervorrufen und somit ganz andere Gelenke in Mitleidenschaft ziehen.

Die Bedeutung der Bauchmuskulatur für die Stabilisierung des Rückens bei bestimmten Übungen wird durch funktionell-anatomische Überlegungen deutlich: Bei einer Beugung der Hüfte mit gestreckten Beinen, wie sie z.B. beim „Klappmesser“ oder beim Beinheben aus dem Hang an der Sprossenwand entsteht, wird ein sehr hohes Drehmoment der Last durch den Hebel Bein erzeugt. Bei einem angenommenen Gewicht der Beine von 30 kg und einer Entfernung des Beinschwerpunktes von 40 cm vom Drehpunkt Hüftgelenk, muß bei einem 5 cm langen Hebelarm der Hüftbeugemuskulatur ein Drehmoment von 2400 N erzeugt werden, um die Beine anzuheben (vgl. WIRHED 1988, S. 50). Von dieser Kraft sind etwa 1900 N auf die Krümmung der Lendenwirbelsäule (LWS) gerichtet, welcher wiederum die Bauchmuskulatur entgegenwirkt. Sind also die Bauchmuskeln zu schwach, um dem von den Beinen entwickelten Drehmoment entgegenzuwirken, so entsteht bei den oben benannten Übungen eine verstärkte Lordose im LWS-Bereich („Hohlkreuz“), was einen sehr hohen Druck auf einzelne Zwischenwirbelscheiben auslöst (Diese werden außerdem einseitig belastet und können so leichter geschädigt werden; vgl. Abb. 27).

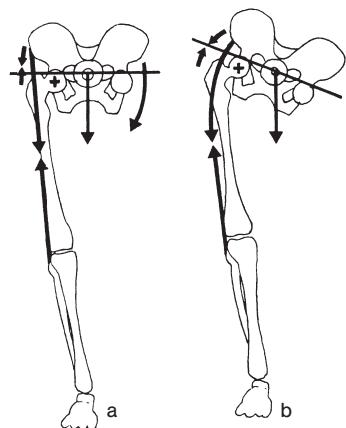


Abb. 29: a) Stabilisierung der waagrechten Stellung des Beckens im Einbeinstand durch die Abduktoren *M. glutaeus medius* und *minimus* und *M. tensor fasciae latae*; b) Abkippen des Beckens bei Insuffizienz der Abduktoren (GROSSER u.a. 1987, S. 150).