

Inhaltsverzeichnis

1. Physikalische Grundlagen	1
1.1 Physikalische Größen, Einheiten und Basisgrößen	1
1.2 Newtonsche Axiome	4
1.3 Kraft	5
1.4 Kraftsysteme	13
1.5 Translation und Rotation	18
1.6 Schwerpunkt	19
1.7 Gleichgewicht	24
1.8 Hebelmechanik	26
1.9 Rolle	38
1.10 Druck	42
1.11 Arbeit	46
<i>Was Dozenten zum Thema physikalische Grundlagen fragen</i>	50
<i>Antworten</i>	54
2. Ziele der Biomechanik in der Physiotherapie	63
2.1 Inhaltliche Schwerpunkte der Biomechanik	63
2.2 Arbeitsweisen der Biomechanik	68
2.3 Auswirkungen von Bewegung und Haltung auf den Bewegungsapparat	69
<i>Was Dozenten zum Thema Ziele der Biomechanik in der Physiotherapie fragen</i>	70
<i>Antworten</i>	71
3. Funktion von Muskeln unter biomechanischen Gesetzmäßigkeiten	72
3.1 Die Wirkung von Muskelkraft und Teilgewichtskräften auf ein Gelenk	72
3.2 Funktionsumkehr	76
3.3 Funktionsbeispiele	76
<i>Was Dozenten zum Thema Funktion von Muskeln unter biomechanischen Gesetzmäßigkeiten fragen</i>	78
<i>Antworten</i>	79
4. Kinematik des Gehens	81
4.1 Einblick in die Ganganalyse	81
4.2 Das Gleichgewicht im Gang	84
<i>Was Dozenten zum Thema Kinematik des Gehens fragen</i>	86
<i>Antworten</i>	87

5. Belastung und Beanspruchung im Körper	88
5.1 Belastung und Beanspruchung der Wirbelsäule	88
5.2 Berechnung der Beanspruchung verschiedener Körperstrukturen	89
<i>Was Dozenten zum Thema Belastung und Beanspruchung im Körper fragen</i>	95
<i>Antworten</i>	96
6. Anthropometrie	98
6.1 Konstitution	98
6.2 Einfluss der Konstitution auf das Bewegungsverhalten des Menschen	100
<i>Was Dozenten zum Thema Anthropometrie fragen</i>	101
<i>Antworten</i>	102
7. Biomechanische Messverfahren	103
7.1 Messmethodische Gütekriterien	103
7.2 Methoden	103
<i>Was Dozenten zum Thema biomechanische Messverfahren fragen</i>	107
<i>Antworten</i>	108
8. Transfer biomechanischer Erkenntnisse in physiotherapeutische Fachgebiete	109
8.1 Biomechanische Belastungen in der Befundaufnahme	109
8.2 Biomechanische Erkenntnisse in der physiotherapeutischen Behandlung	110
<i>Was Dozenten zum Thema Transfer biomechanischer Erkenntnisse fragen</i>	112
<i>Antworten</i>	113
Literaturverzeichnis:	114

5. Belastung und Beanspruchung im Körper

(siehe Kapitel 1.3)

Eine Belastung führt bei jedem Individuum zu einer unterschiedlichen Beanspruchung!

In der Physik spricht man von Belastung, wenn ein Körper bestimmten Kräften ausgesetzt ist.

Aufgabenbereiche der präventiven Biomechanik:

- Identifikation der Belastung des menschlichen Bewegungsapparates
- Belastungsanalyse: Analyse der Wirkung (Beanspruchung) von mechanischen Belastungsfaktoren
- Verletzungsvorbeugende Gestaltung der Belastung
- Im Sport: Minimierung von Sportverletzungen und Sportschäden durch Verbesserung von Bewegungstechniken und Trainingsausrüstung
- In der Arbeitswelt: Optimierung von Arbeitsprozessen, ...

5.1 Belastung und Beanspruchung der Wirbelsäule

Äußere Belastungen für die Wirbelsäule:

- Sitzen über einen längeren Zeitraum in krummer Haltung
- langes Stehen (statische Arbeiten)
- häufiges Bücken, Heben, Tragen
- Psychische Belastungen
- lang anhaltende einseitige Belastung

(hier sind nur einige Beispiele genannt)

Jede Belastung führt zu einer Beanspruchung der Strukturen der Wirbelsäule in Form von Druck-, Zug- oder Biegespannung.

Ein Gewicht mit einer bestimmten Belastung „x“ hat auf einer krummen Säule eine wesentlich höhere Beanspruchung als auf einer geraden Säule, da dass Gewicht auf der krummen Säule zu Scherkräften mit Druck- und Zugkräften führt.

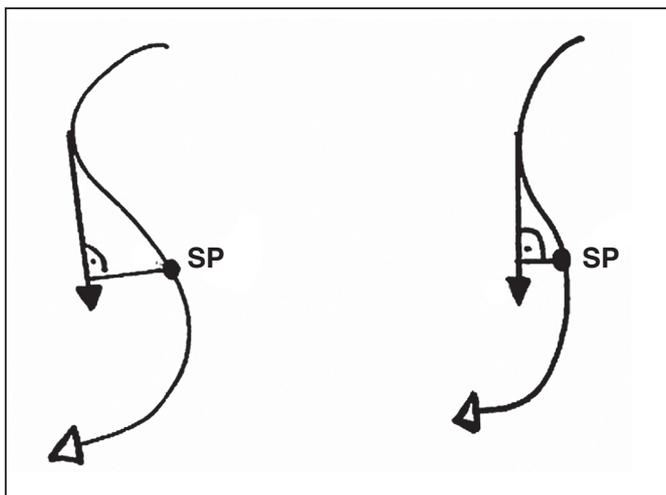


Abb.: Hebelarme werden bei starken Krümmungen größer;
links: gleichmäßig verteilter Druck (= axiale Belastung);
rechts: Biegespannung durch Druck- und Zugbeanspruchung

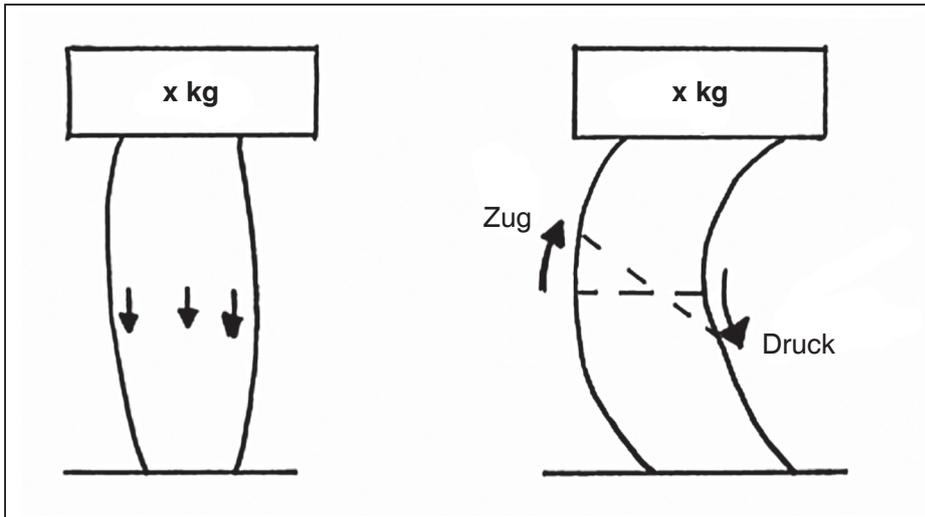


Abb.: Unterschiedliche Beanspruchung bei gleicher Belastung

→ Fazit:

- Druck, der auf eine physiologisch gekrümmte Wirbelsäule einwirkt, vermeidet die Einwirkung von Scherkräften auf die Bandscheibe!
- Zugbeanspruchung führt zu Dehnung des Kapsel-Bandapparates und damit zu einer erhöhten Instabilität und Hypermobilität
- eine Überbelastung einzelner Wirbelsäulensegmente kann vermieden werden, wenn die Wirbelsäulenbewegung auf viele Segmente der Wirbelsäule verteilt ist

5.2 Berechnung der Beanspruchung verschiedener Körperstrukturen

5.2.1 Retropatellarer Anpressdruck

Das Maß der Knieflexion beeinflusst die Kraft, die auf das Gelenk zwischen Femur und Patella wirkt!

→ Belastung des Femoropatellargelenks = Muskelkraft + Kraft des Lig. patellae + Schwerkraft

Bei Extension ist der retropatellare Anpressdruck gering und nimmt bei Flexion zu:

- bei sehr weit dorsal liegendem Körperschwerpunkt (Bsp.: in der „Hocke“) verlängert sich der Lastarm der Körpergewichtskraft und somit muss der M. quadriceps femoris (\vec{F}_M) mehr Kraft aufbringen um das Ventralgleiten des Femurs zu verhindern (\vec{F}_{NR}): die Kraft \vec{F}_{NR} die in das Gelenk wirkt, kann das 10fache des Körpergewichtes betragen
- je weiter ventral der Körperschwerpunkt vom Drehzentrum entfernt liegt, desto größer wird der Entlastungseffekt
- bei ca. 50° Flexion und einem nach dorsal verlagertem Körperschwerpunkt ist die Belastung des Femurpatellargelenkes ca. drei Mal so groß als wenn der Körperschwerpunkt auf die Chopart-Gelenklinie fällt

A: > 50° Flexion, **B:** zwischen 10°–50° Flexion, **C:** Genu recurvatum

$$\vec{F}_{NR1} > \vec{F}_{NR2} > \vec{F}_{NR3}$$

\vec{F}_{NR3} > hat eine distraktorische Wirkung im Femurpatellargelenk

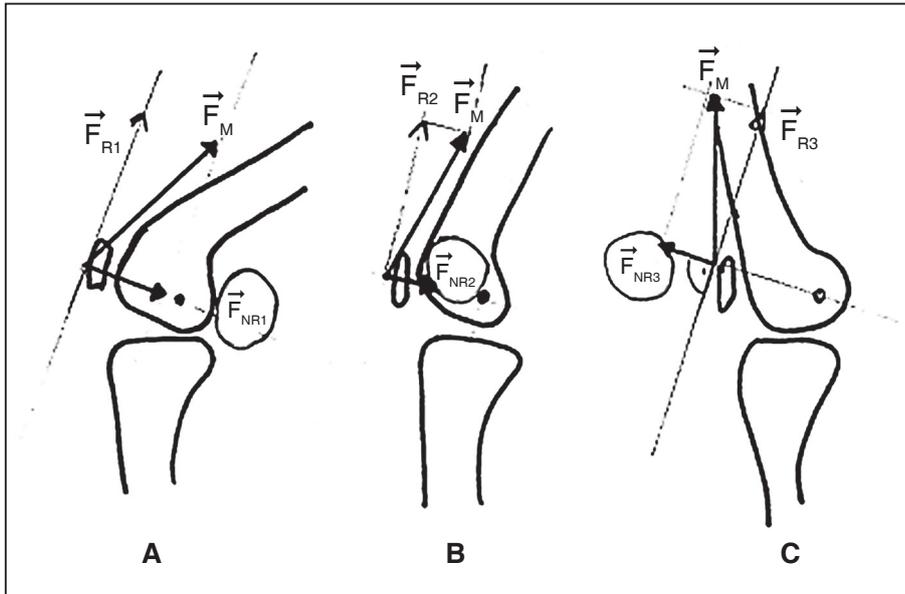


Abb.: Retropatellarer Anpressdruck in Abhängigkeit von der Stellung des Kniegelenkes

Die Stärke der einwirkenden Kraft hängt von dem Winkel ab, der zwischen Patella und Quadrizepssehne liegt:

→ je größer der Winkel, desto größer ist die Kraft, die auf das Femurpatellare Gelenk wirkt

Beispiel (1):

Die Knieflexion beträgt 5° , der Winkel zwischen Patella- und Quadrizepssehne beträgt 35° . Auf die Patella- und Quadrizepssehne wirkt über den Quadrizeps eine Kraft von ca. 1000 N (100 kg)

$$\vec{F}_Q = 1000 \text{ N}$$

$$\vec{F}_S = 1000 \text{ N}$$

$$\vec{F}_R = ?$$

$$\vec{F}_R = \sin 35^\circ * \vec{F}_Q = 0,985 * 1000 \text{ N} = 574 \text{ N}$$

(siehe Mathematikunterricht gleichschenkliges Dreieck)

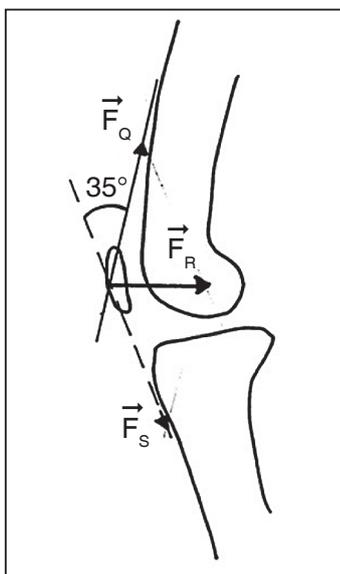


Abb.: 5° Flexion im Kniegelenk

Beispiel (2):

Bei 90° Knieflexion beträgt der Winkel zwischen Patella- und Quadrizepssehne 80°, die Kraft \vec{F}_Q und \vec{F}_S beträgt 1000 N. Gesucht ist die Kraft \vec{F}_R die auf das Femurpatellargelenk wirkt.

$$\sin 80^\circ * \vec{F}_Q = 0,985 * 1000 \text{ N} = 985 \text{ N}$$

Beispiel (1) und (2) zeigen deutlich, dass die Belastung des Femurpatellargelenkes bei 90° Flexion wesentlich stärker ist.

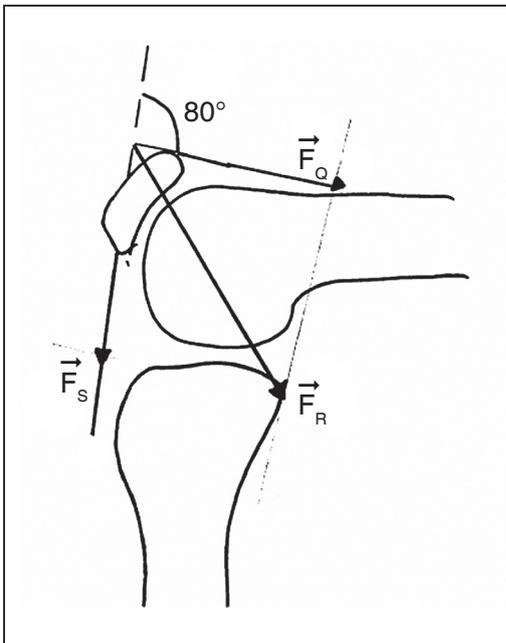


Abb.: 90° Knieflexion

Beispiel (3): Kraftzerlegung des M. quadrizeps femoris

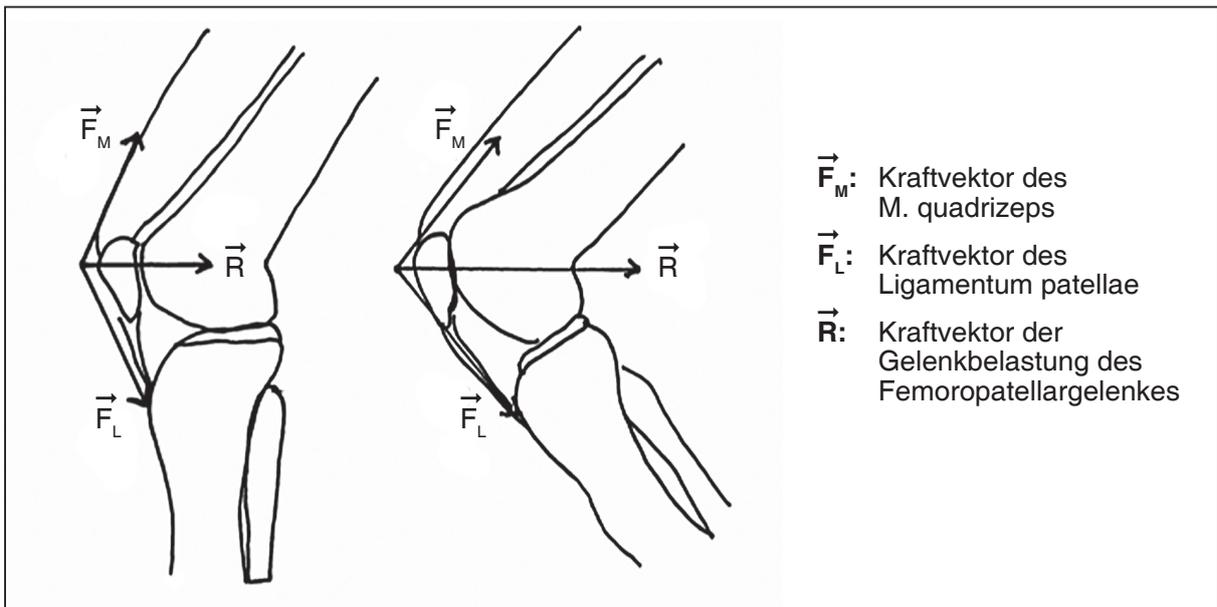


Abb.: Kraftzerlegung des M. quadriceps femoris

5.2.2 Belastung beim Halten und Heben von Gewichten

Konvergenz- und Divergenzgleiten der Wirbelgelenke:

- bei Flexion kommt es zu einem Divergenz-(auseinander)gleiten der kleinen Wirbelgelenke und es kommt zu erhöhtem Druck im Bereich der ventralen Wirbelkörper
- bei endgradiger Extension kommt es zu einem Auseinanderweichen der ventralen Wirbelkörper, die Gelenkflächen der Wirbelgelenke schieben sich ineinander / Konvergenzgleiten
- Lateralflexion ist nur in Kombination mit Rotation möglich
- bei Lateralflexion nach rechts kommt es auf der rechten Seite zu einem Konvergenz- auf der linken Seite zu einem Divergenzgleiten
- bei Rotation (nur in Kombination mit Lateralflexion möglich) kommt es während der Flexion zu einer minimalen Verbreiterung des Gelenkspaltes, sodass für die rotatorische Bewegung mehr Spielraum ist
- pro Segment ist nur 3° – 4° Rotation möglich

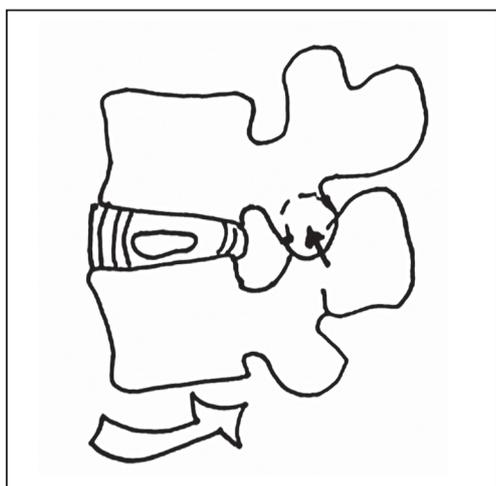


Abb.: Konvergenzgleiten bei Extension der Wirbelsäule

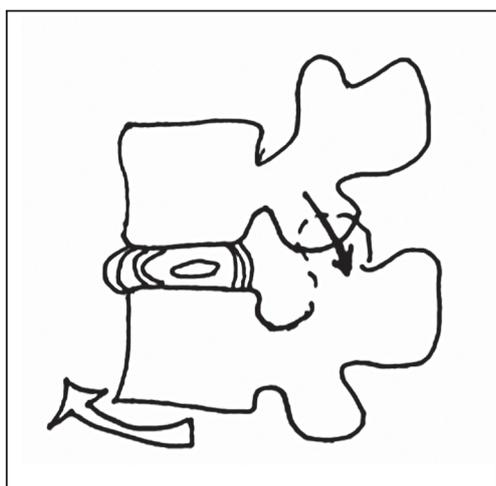


Abb.: Divergenzgleiten bei Flexion der Wirbelsäule

Verhalten und Belastung der Bandscheibe:

- bei Vorneigung der Körperlängsachse um 20° erhöht sich der intradiskale Druck auf 1400 N/m²
- wenn man bei Vorneigung der Körperlängsachse um 20° ein Gewicht zu heben hat, dann erhöht sich der Druck auf das 7-fache
- bei axialer Belastung der Bandscheibe und einer physiologischen Wirbelsäulenkrümmung (Kyphose, Lordose) führt dies zu keiner Schädigung; wichtig ist, dass beim Heben und Tragen die Körperabschnitte in der Körperlängsachse eingeordnet sind und die physiologische Krümmung der Wirbelsäule nicht verloren geht
- CAVE: Statische WS-Typen mit zu geringer Krümmung der Wirbelsäule haben höhere Erkrankungszahlen an Bandscheibenschäden
- beim Bückvorgang mit Rundrücken kommt es zu Biegespannung im Bereich der Bandscheibe, da Druck- und Zugkräfte entstehen
- bei einer Flexion der Wirbelsäule neigt sich der Wirbelkörper nach ventral, dorsal verbreitert sich der Bandscheibenraum, sodass die Fasern des Anulus fibrosus ventral zusammen gedrückt und dorsal auseinander gezogen werden
- der Nucleus pulposus der Bandscheibe wandert in dem keilförmigen Zwischenwirbelraum nach dorsal

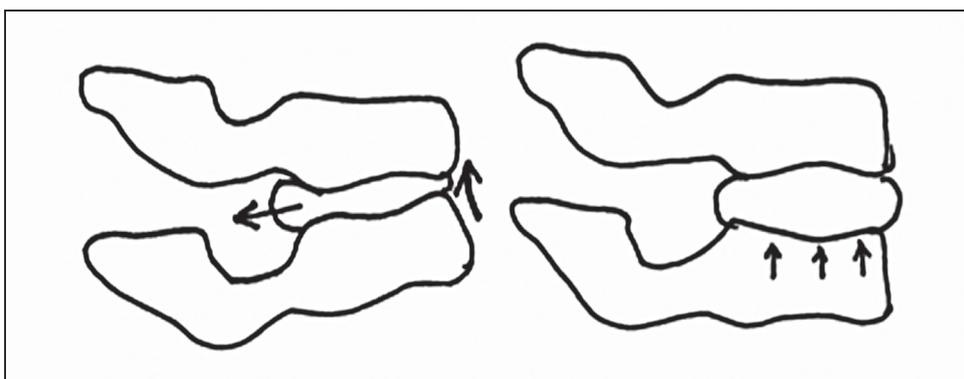


Abb.: Belastungen der Bandscheibe

Diese Darstellungen über die Belastung der Bandscheibe sind sehr vereinfacht dargestellt!! Natürlich kann man den Sachverhalt wesentlich komplexer betrachten!

Erhöhung des intrathorakalen Druckes durch den Einsatz der Bauchmuskulatur beim Heben und Tragen

Innerhalb der Rumpfkapsel herrscht in Abhängigkeit der Aktivität der Muskulatur ein gewisser intraabdomineller Druck.

- beim Heben von Gewichten wird zur dynamischen Stabilisierung die Aktivität von Beckenbodenmuskulatur, Bauch- und Rückenmuskulatur erhöht, wobei die Bauchorgane nach cranial Richtung Zwerchfell gedrückt werden
- über die intakte BeBo-Muskulatur wird der intraabdominelle Druckanstieg aufgefangen
- das Zwerchfell hebt sich und erhöht den Druck im intrathorakalen Raum, der Thorax hebt sich
- wenn die Luft beim Heben schwerer Lasten noch zusätzlich angehalten wird erhöht sich der intrathorakale Druck noch mehr
- dieser Druck drückt auch große Blutgefäße im Thorax zusammen, dadurch staut sich das Blut
- das Herz muss gegen die komprimierten Gefäße anpumpen, der Blutdruck steigt

- durch den erhöhten Druck im intrathorakalen Raum kommt es zu einer verminderten Durchblutung der Herzkranzgefäße und somit der Herzmuskulatur
- bei Ausatmung durch die locker geschlossenen Lippen kann man hohen intrathorakalen Druck vermeiden und hat genügend Stabilität im Rumpf
- Cave: bei Herzpatienten immer Pressatmung vermeiden, Widerstände anpassen, bei Anstrengung darauf achten, dass der Atem nicht angehalten wird!!

Durch die Anspannung der Bauch und Rückenmuskulatur wird das Zwerchfell nach oben gedrückt, der Druck im intrathorakalen Raum nimmt zu

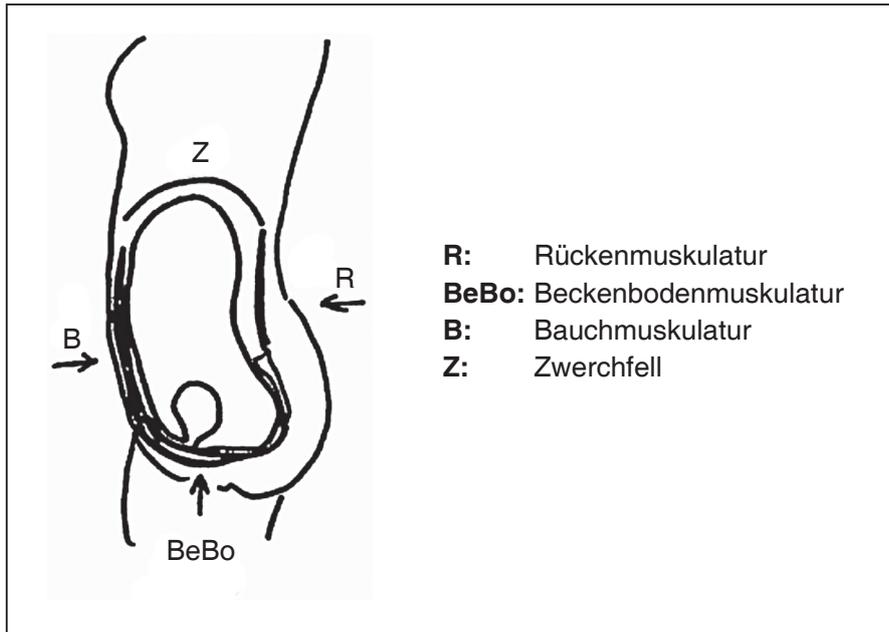


Abb.: Rumpfkapsel

Was Dozenten zum Thema Belastung und Beanspruchung im Körper fragen

- 1) Wie kann man biomechanische Erkenntnisse in der Prävention nutzen? Nennen Sie vier Beispiele! (siehe 5)
- 2) Durch welche Belastungen kann es zu einer Beanspruchung der Wirbelsäule kommen? (siehe 5.1)
- 3) Warum ist es sinnvoll bei Belastungen der Wirbelsäule eine aufrechte Körperhaltung einzunehmen? (siehe 5.1)
- 4) Nennen Sie zwei Bedingungen unter denen die Belastung des femuropatellaren Gelenks steigt (siehe 5.2)
- 5) Aus welchen Teilkräften setzt sich der retropatellare Anpressdruck zusammen? (siehe 5.2)
- 6) Die resultierende Kraft aus den Kraftvektoren (Lig. patellae und Ansatz des Quadrizeps femoris) bestimmt den Anpressdruck der Patella auf das femuropatellare Gleitlager! Welche Aussagen treffen zu? (siehe 5.2)
 - a) die Resultierende ist umso größer je mehr das Knie flektiert wird
 - b) der Anpressdruck steigt, je größer die Gesamtresultierende aus den Vektoren des Lig. patellae und dem Ansatz des Quadrizeps ist
 - c) bei Genu recurvatum ist der Anpressdruck am größten
- 7) Erklären Sie die Biomechanik der Bandscheibe bei Flexion der Wirbelsäule und welche Stellung der Facettengelenke ist damit verbunden? (siehe 5.2.2)
- 8) Welche Druckverhältnisse herrschen innerhalb des Anulus fibrosus bei Flexion der WS um 20°? (siehe 5.2.2)
- 9) Was passiert, wenn beim Heben schwerer Lasten die Bauchmuskulatur vermehrt eingesetzt wird?

Antworten

zu 1.

- Identifikation der Belastung des menschlichen Bewegungsapparates
- Belastungsanalyse: Analyse der Wirkung (Beanspruchung) von mechanischen Belastungsfaktoren
- Verletzungsvorbeugende Gestaltung der Belastung
- Minimierung von Sportverletzungen und Sportschäden durch Verbesserung von Bewegungstechniken und Trainingsausrüstung, Sportgeräte, Materialien, Formen

zu 2.

- Sitzen über einen längeren Zeitraum in krummer Haltung
- langes Stehen (statische Arbeiten)
- häufiges Bücken, Heben, Tragen
- Psychische und soziale Belastungen
- fehlende Belastung, Inaktivität

zu 3.

- bei axialer Belastung treten keine Biegespannungen auf
- Druck, der auf eine aufrechte Wirbelsäule einwirkt führt nicht zu einer Schädigung der Bandscheibe!
- Zugbeanspruchung führt zu Dehnung des Kapsel-Bandapparates und damit zu einer erhöhten Instabilität und Hypermobilität
- eine Überbelastung einzelner Wirbelsäulensegmente kann vermieden werden, wenn die Wirbelsäulenbewegung auf viele Segmente der Wirbelsäule verteilt ist

zu 4.

- zunehmender Knieflexion
- bei Genu valgus Fehlstellung und gleichzeitiger Knieflexion

zu 5.

- Belastung des Femoropatellargelenks = Muskelkraft + Kraft des Lig. patellae + Schwerkraft

zu 6.

- a) und b) treffen zu

zu 7.

- Anulus fibrosus wird an seiner dorsalen Seite gedehnt und an der ventrale Seite komprimiert
- Nucleus pulposus wandert nach dorsal
- bei reiner Flexion öffnen sich die Facettengelenke (Divergenz)

zu 8.

- bei Vorneigung der Körperlängsachse um 20° erhöht sich der intradiskale Druck auf 1400 N/m^2
- wenn man bei Vorneigung der Körperlängsachse um 20° ein Gewicht zu heben hat, dann erhöht sich der Druck auf das 7-fache
- reduzierte Belastung der Bandscheibe durch axiale Belastung; wichtig ist, dass beim Heben und Tragen die Körperabschnitte in der Körperlängsachse eingeordnet sind und die physiologische Krümmung der Wirbelsäule nicht verloren geht (bei konstanten Druckverhältnissen und bei sehr hohem führt auch dies bei axialer Belastung zu einer Bandscheibenschädigung)
- beim Bückvorgang mit Rundrücken kommt es zu Biegespannung im Bereich der Bandscheibe, da Druck- und Zugkräfte entstehen

zu 9.

- es kommt zu einer Thoraxanhebung, da die Bauchmuskulatur auf die Bauchorgane Druck ausübt, was dazu führt, dass sie in Richtung Zwerchfell ausweichen
- das kurze Luftanhalten beim Anheben einer Last führt zu einer Steigerung des intrathorakalen Druckes
- bei einem Gewichtheber dient eine Bauchgurt als Schutz für die Bauchmuskulatur und der Unterstützung der Aufrichtung