

## Über die Lastverteilung eines passiv gebeugten Rückens auf Muskeln, Bänder und Bandscheiben *in vivo*

*How is the load in a passively flexed lumbar spine distributed among muscles, spinal ligaments, vertebrae, facet joints, and intervertebral discs in vivo*

Falk Mörl\*, Michael Günther, Syn Schmitt

\*FSA Forschungsgesellschaft für angewandte Systemsicherheit und Arbeitsmedizin mbH, Biomechanik, Erfurt

Aufgrund alter und aktuellerer Messungen gilt der Bandscheibendruck als Haupt-Variable, um die Belastung der Wirbelsäule einzuschätzen. Auch Modellansätze konzentrieren sich auf den Druck in der Bandscheibe, nur wenige Studien stellen Kräfte in Bändern oder Muskeln bereit. Eine vollständige Bilanz, welche Kraft-Anteile von welchen inneren Strukturen getragen werden, existiert bisher nicht.

Mit einer Rumpfbeugemaschine wurde die lumbale Wirbelsäule von 19 Probanden passiv gebeugt. Die auftretenden Drehmomente wurden auf den typischen Drehpunkt L4/5 berechnet und mit dem gleichzeitig erfassten Beugewinkel der Lendenwirbelsäule in Zusammenhang gebracht. Der nichtlineare Zusammenhang von innerem Drehmoment und LWS-Beugewinkel wurde mit einem nichtlinearen Regressionsmodell beschrieben. Es zeigt sich, dass der Winkel, bei dem kein Drehmoment wirkt, individuell verschieden ist. Auch der Wendepunkt des nichtlinearen Regressionsmodells ist individuell geprägt. Steifigkeiten an diesen Punkten sind bei Frauen und Männern vergleichbar, bei einer Beugung der Lendenwirbelsäule von 5° vom Wendepunkt sind Männer jedoch 87% steifer als Frauen.

Die Situation in der Rumpfbeugemaschine wurde mit einem biomechanischen Mehrkörpermodell simuliert. Dabei wurde der Modellrücken innerhalb von 7 Sekunden um etwa 90° (Rumpf-zu-Bein-Winkel) gebeugt, was einer Winkelgeschwindigkeit von 10°/s wie im Experiment entsprach. Das Modell bildet die experimentelle Situation gut ab, vergleichbare Steifigkeiten werden erreicht. Die Vorhersage des Modells ist, dass das im Inneren des Körpers wirkende Moment durch Zugkräfte in Bändern und (passiv) gedehnten Muskel-Sehnen-Komplexe aufgebaut wird, welche sich gegen den bei Beugung zunehmenden Bandscheibendruck verspannen. Die im inneren wirkenden Kräfte werden von allen modellierten Strukturen wie Bandscheiben, Bändern und Muskel-Sehnen-Komplexen aufgebaut. Erstmals ist es möglich, eine Lastverteilung zwischen diesen Strukturen darzustellen.

Über die Berechnung des inneren Lastszenarios konnte erstmals erklärt werden, wie die experimentell gemessenen Bandscheibendrucke bzw. inneren Momente zustande kommen. Hierbei ist zu betonen, dass nicht nur die Bandscheiben Last tragen, sondern die gedehnten Bänder einen großen Anteil leisten. Diese passive Mechanik der Lendenwirbelsäule wirkt bei jeder passiven oder aktiven Beugung der Lendenwirbelsäule, wie sie im Alltag bei Arbeitshandlungen oder sitzend auftreten.

Currently, based on physical measurements, the intradiscal pressure is the main variable to evaluate spinal loading. Thus, model based studies look at pressures within the disk, only few studies calculate forces in ligaments and/or muscles. In summary, at this time knowledge about an entire load distribution on spinal structures is non-existent.

Using a custom made trunk-bending machine, lumbar spines of 19 volunteers were bent passively. The torque acting on lumbar level L4/5 was calculated and related to the lumbar flexion angle. The relation was described by a non-linear regression model. The lumbar flexion angle, at which no passive torque acts, is an individual number. Further, a turning point (minimum or maximum in slope) was found by the regression model, which is likewise an individual property. For females and males, the lumbar stiffness is comparable at these postures, but at a deflection of 5° from the turning point the lumbar stiffness is 87% higher in men than in women.

The load situation within the trunk-bending machine was simulated by a biomechanical multi-body model. For this, the modelled spine was bent within 6.5 seconds from zero to 90° trunk-to-thigh angle, resulting in an angular velocity of about 14°/s as approximately in the experiments. The model well simulates the experiment: the lumbar stiffness is predicted to match experimental data closely. In the bending movement, mainly the pulling forces of ligaments and passively stretched lumbar muscle-tendon units act increasingly against intradiscal pressure with increasing flexion of the lumbar spine. Inner loads are generated by all modelled structures: discs, ligaments, facet joint structures, and muscle tendon complexes. The load distribution among all these structures is presented.

For the first time, an explanation of how all main anatomical structures contribute to intradiscal pressure can be given by calculation of this inner load distribution. We found that stretched ligaments provide the main part of both the disc pressures and the torque compensation within the lumbar spine bent this way. It is very likely that similar passive mechanics of the lumbar spine act during passive and even active bending movements of the spine, like physical labour (e.g. picking up an object) or seated work.