

УДК 531/534:[57+61]

## ВЛИЯНИЕ ВНУТРИБРЮШНОГО ДАВЛЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

<sup>1</sup>Туктамышев В.С., <sup>2</sup>Соломатина Н.В.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
Пермь, e-mail: helpinvader@list.ru;

<sup>2</sup>ГБОУ ВПО «Пермская государственная медицинская академия им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава РФ, Пермь, e-mail: solomatinalalya@mail.ru

В данной работе представлен обзор исследований, посвящённых определению роли внутрибрюшного давления в механизме разгрузки поясничного отдела позвоночника. В процессе поднятия тяжестей мышцы спины человека обеспечивают поддержание естественного расположения тел позвонков. Значительный вес поднимаемых грузов, а также резкие движения могут привести к чрезмерным напряжениям этих мышц, что влечёт за собой повреждение элементов позвоночного столба. В особенности это касается поясничной области позвоночника. Между тем некоторые теоретические и экспериментальные исследования доказывают, что повышение давления в полости живота снижает вероятность перегрузок поясничного отдела позвоночника. Это происходит за счёт того, что внутрибрюшное давление создаёт дополнительный разгибающий момент, действующий на позвоночник в процессе удержания и поднятия тяжестей, а также увеличивает жёсткость поясничного отдела позвоночного столба. Тем не менее взаимосвязь между внутрибрюшным давлением и состоянием позвоночника остаётся малоизученной и требует междисциплинарного подхода, одним из важнейших направлений которого является биомеханическое моделирование.

**Ключевые слова:** внутрибрюшное давление, поясничный отдел позвоночника, межпозвоночный диск, биомеханическое моделирование

## THE INFLUENCE OF INTRA-ABDOMINAL PRESSURE ON THE LUMBAR SPINE

<sup>1</sup>Tuktamyshev V.S., <sup>2</sup>Solomatina N.V.

<sup>1</sup>Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: helpinvader@list.ru;

<sup>2</sup>E.V. Vagner Perm State Medical Academy, Perm, e-mail: solomatinalalya@mail.ru

The given paper contains a review of studies on the definition of the role of intra-abdominal pressure in the mechanism of unloading in the lumbar spine. During the lifting tasks the back muscles of human responsible for maintaining natural location of the vertebral bodies. Significant weight to the loads, as well as sudden movements can lead to excessive muscle tension, which involve the damage in the spinal column. This applies particularly to the lumbar spine. Meanwhile, some of the theoretical and experimental studies show that the increase of intra-abdominal pressure reduces the probability of overloads of the lumbar spine. This is due to the fact that intra-abdominal pressure creates additional extensor torque acting on the spine in the process of retention and lifting heavy weights, and increases the stiffness of the lumbar spine. However, the relationship between the intra-abdominal pressure and the state of the spine remains poorly understood and requires an interdisciplinary approach, one of the most important areas of which is the biomechanical modelling.

**Keywords:** intra-abdominal pressure, lumbar spine, intervertebral disk, biomechanical modelling

Позвоночник является одним из важнейших сегментов человеческого организма. Помимо опорной и двигательной функций позвоночный столб играет значительную роль в защите спинного мозга. Вместе с тем структурные элементы позвоночника (позвонки) могут совершать движения друг относительно друга, что достигается наличием обширного анатомо-физиологического аппарата, состоящего из суставов, межпозвоночных дисков, а также большого количества мышечных волокон и связок. Несмотря на достаточно высокую прочность позвоночного столба, обеспечиваемую этим аппаратом, нагрузки, которые испытывает человек в процессе своей жизнедеятельности, могут привести к негативным последствиям, таким как боли в спине, остеохондроз, межпозвоночные грыжи и т.д. [15, 17, 18, 22]. Наиболее уязвимой с точки зрения болей в спине и заболеваний, связанных с перегрузками межпозвоночных дисков, является нижняя часть поясничного отде-

ла позвоночника. Различные исследования показывают, что чаще всего указанные патологии проявляются при резком или периодическом поднятии тяжестей. Одним из способов защиты от такого рода перегрузок является внутрибрюшное давление.

### Поясничный отдел позвоночника

Поясничный отдел позвоночного столба располагается в брюшной полости и включает в себя пять позвонков (рис. 1). Из-за большой осевой нагрузки, приходящейся на поясничный отдел, эти позвонки имеют наибольшие размеры.

Между смежными позвонками располагаются межпозвоночные суставы, межпозвоночные диски, связки и мышечные волокна, в совокупности обеспечивающие подвижность и стабильность элементов поясничного отдела. Наибольший интерес в этом сегменте представляют межпозвоночные диски, анализ напряжённо-деформированного состояния (НДС) которых яв-

ляется важнейшей задачей в профилактике и лечении распространённых патологиче-

ских состояний поясничного отдела позвоночника [2].



Рис. 1. Поясничный отдел позвоночника

Вместе с тем многочисленные исследования доказывают зависимость механических напряжений, возникающих в поясничных межпозвоночных дисках, от активности мышц спины [21, 23]. Таким образом, давление, возникающее за счёт силы тяжести в вертикальном положении туловища, не является первоочередным фактором перегрузки этих дисков. Наибольшую опасность в данном смысле представляет чрезмерное сокращение мышцы, выпрямляющей позвоночник (*m. erector spinae* [3]). В процессе поднятия тяжестей (рис. 2) активность *m. erector spinae* способствует поддержанию естественного расположения позвонков. Однако в тех случаях, когда вес поднимаемого груза достаточно велик, удержание позвоночника требует сильного сокращения волокон мышцы, выпрямляющей позвоночник, что может привести к значительной компрессии межпозвоночных дисков в поясничной области. Это, в свою очередь, влечёт за собой появление болей в спине, а также другие негативные эффекты.

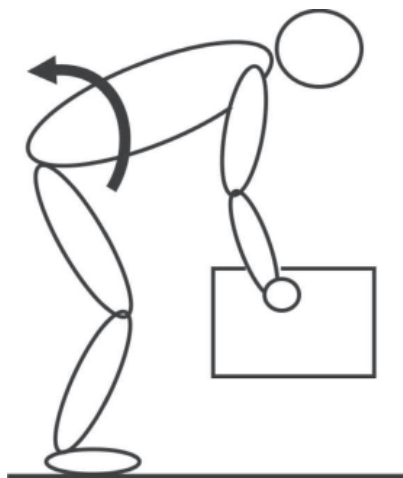


Рис. 2. Схематическое изображение поднятия тяжести с выпрямленной спиной

Экспериментальное определение механических напряжений внутри межпозвоночных дисков человека практически неосуществимо. Поэтому большинство исследований в данном направлении основываются на результатах биомеханического моделирования, имеющих оценочный характер. Для получения точных характеристик НДС межпозвоночного диска необходимо знать механические взаимосвязи в позвоночно-двигательном сегменте, которые на сегодняшний день являются недостаточно изученными.

Биомеханический анализ ситуации, изображённой на рис. 2, проведён во множестве исследований (см., например, [5, 8, 10, 12]). При этом различными авторами были получены различные данные. Тем не менее все они сходятся на том, что в процессе поднятия тяжестей нагрузка на поясничные межпозвоночные диски возрастает в несколько раз по отношению к физиологическим усилиям, действующим на поясничный отдел позвоночного столба в вертикальном положении тела.

### Внутрибрюшное давление

Брюшная полость – пространство, расположенное в туловище ниже диафрагмы и целиком заполненное внутренними органами. Сверху брюшное пространство ограничено диафрагмой, сзади – поясничным отделом позвоночного столба и мышцами поясницы, спереди и с боков – мышцами живота, снизу – диафрагмой таза [3].

При несоответствии объёма внутрибрюшного содержимого объёму, ограниченному оболочкой брюшной полости, возникает внутрибрюшное давление, т.е. взаимная компрессия внутрибрюшных масс и их давление на оболочку брюшной полости [4].

Внутрибрюшное давление измеряется в конце выдоха в горизонтальном поло-

жении при отсутствии напряжений мышц брюшной стенки с помощью датчика, обнуляемого на уровне средне-подмышечной линии. Эталонным является измерение внутрибрюшного давления через мочевого пузыря. Нормальный уровень внутрибрюшного давления у человека в среднем колеблется от 0 до 5 мм рт. ст. [24].

Причины повышения внутрибрюшного давления можно условно разделить на физиологические и патологические. К первой группе причин можно отнести, к примеру, сокращение мышц брюшного пресса, беременность и т.д. Патологический рост внутрибрюшного давления может быть вызван перитонитом, кишечной непроходимостью, накоплением жидкостей или газов в полости живота и др. [1].

Устойчивое повышение внутрибрюшного давления способно вызвать серьёзные патологические изменения в организме человека [1]. Вместе с тем в мировой научной литературе встречаются экспериментальные данные, утверждающие о том, что в отличие от длительной внутрибрюшной гипертензии кратковременное увеличение внутрибрюшного давления имеет положительные эффекты и может использоваться при профилактике заболеваний межпозвоночных дисков поясничного отдела позвоночного столба.

#### Влияние внутрибрюшного давления на состояние поясничного отдела позвоночника

Предположение о том, что внутрибрюшное давление уменьшает компрессию позвонков поясничного отдела, было сделано ещё в 1923 году [16]. В 1957 году *Bartelink* теоретически обосновал эту гипотезу, используя законы классической механики [6]. *Bartelink*, а в последствии и *Morris* с соавторами [20] предположили, что внутрибрюшное давление реализуется в полости живота в виде силы (реакции), действующей со стороны диафрагмы таза. При этом для свободного (незакреплённого) тела (рис. 3) законы статики записываются в следующей математической форме [9]:

$$\mathbf{F}_m + \mathbf{F}_p + \mathbf{F}_d = 0, \quad (1)$$

$$\mathbf{r}_g \times \mathbf{F}_g + \mathbf{r}_m \times \mathbf{F}_m + \mathbf{r}_p \times \mathbf{F}_p = 0, \quad (2)$$

где  $\mathbf{F}_g$  – сила тяжести, действующая на туловище;  $\mathbf{F}_m$  – усилие со стороны *m. erector spinae*;  $\mathbf{F}_d$  – нагрузка на пояснично-крестцовый межпозвоночный диск;  $\mathbf{F}_p$  – усилие от внутрибрюшного давления;  $\mathbf{r}_g$ ,  $\mathbf{r}_m$  и  $\mathbf{r}_p$  – радиус-векторы, проведённые из точки приложения силы  $\mathbf{F}_d$  в точки приложения сил  $\mathbf{F}_g$ ,  $\mathbf{F}_m$  и  $\mathbf{F}_p$ , соответственно. Сумма

моментов сил в уравнении (2) определяется относительно центра пояснично-крестцового межпозвоночного диска.

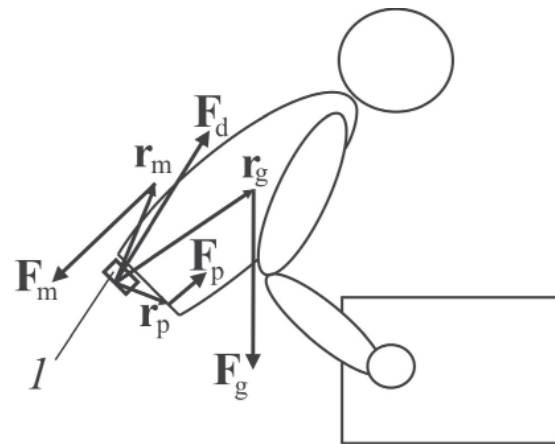


Рис. 3. Схема свободного тела в состоянии удержания тяжести. Цифрой «1» обозначен пятый позвонок поясничного отдела.

Из рис. 3, а также формулы (2) видно, что для сохранения равновесия при действии сгибающего момента со стороны силы тяжести (относительно центра пояснично-крестцового межпозвоночного диска), разгибатели спины, сокращаясь, создают разгибающий момент  $\mathbf{M}_m$  (на рис. 3 не показан). Поэтому, чем больше величина сгибающего момента от силы  $\mathbf{F}_g$ , тем большее усилие необходимо развить *m. erector spinae* и тем большая нагрузка приходится на межпозвоночный диск. При наличии внутрибрюшного давления возникает сила  $\mathbf{F}_p$  и дополнительный разгибающий момент  $\mathbf{M}_p$  (на рис. 3 не показан), определяемый третьим слагаемым в уравнении (2). Таким образом, внутрибрюшное давление способствует снижению величины силы  $\mathbf{F}_m$ , необходимой для поддержания равновесия туловища с тяжестью в руках и, следовательно, приводит к уменьшению нагрузки на рассматриваемый межпозвоночный диск.

Результаты экспериментов *in vivo*, полученные в работе [13], подтвердили наличие дополнительного момента  $\mathbf{M}_p$ . Однако величина этого момента не превысила 3% от максимального значения  $\mathbf{M}_m$ . Это означает, что роль внутрибрюшного давления в качестве дополнительного разгибателя туловища является недостаточно существенной. Тем не менее любое уменьшение нагрузки на поясничный отдел позвоночника со стороны мышц, выпрямляющей позвоночник, может предостеречь от потенциального повреждения позвоночных элементов [11].

Более значимым является влияние внутрибрюшного давления на жёсткость пояс-

ничного отдела позвоночного столба. При этом под жёсткостью  $k$  понимается следующее отношение:

$$k = \frac{F}{\Delta l}, \quad (3)$$

где  $F$  – сила, прикладываемая к той точке на спине, которая соответствует положению исследуемого поясничного позвонка;  $\Delta l$  – соответствующее перемещение этой точки (рис. 4). Измерения *in vivo* показали, что увеличение жёсткости  $k$  на уровне четвёртого поясничного позвонка при наличии давления внутри полости живота может достигать 31% [14]. При этом все наблюдения производились в отсутствии активности мышц передней, боковой и задней частей оболочки брюшной полости (в т.ч. *m. erector spinae*), что является немаловажным, так как некоторые авторы связывают повышение жёсткости поясничного отдела позвоночного столба с увеличением жёсткости всей оболочки брюшной полости за счёт напряжения её мышц [7, 19].

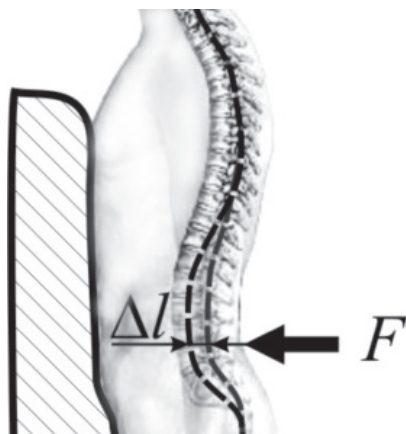


Рис. 4. Определение жёсткости поясничной части позвоночника

Таким образом, внутрибрюшное давление способствует уменьшению деформаций в поясничной области позвоночника под действием внешних сил, что, в свою очередь, понижает вероятность патологических явлений, возникающих в процессе поднятия тяжестей.

#### Биомеханический подход к исследованию влияния внутрибрюшного давления на поясничный отдел позвоночного столба

Механизм влияния внутрибрюшного давления на состояние поясничного отдела позвоночного столба, безусловно, до конца не изучен. Данная проблема является сложной и носит междисциплинарный характер, так как требует знаний специалистов различного профиля. Одним из важнейших на-

правлений междисциплинарного подхода к исследованию представленной взаимосвязи является биомеханическое моделирование. Использование современных компьютерных технологий и вычислительных алгоритмов для определения количественных закономерностей взаимодействия внутрибрюшного содержимого и элементов поясничной области позвоночника позволит разработать определяющие соотношения, учитывающие помимо всего прочего индивидуальные особенности. Этим объясняется необходимость изучения рассматриваемой проблемы с точки зрения биомеханики.

#### Заключение

Внутрибрюшное давление является сложным физиологическим параметром. Наряду с негативным влиянием на органы и системы человеческого организма давление в полости живота, кратковременно увеличиваемое в процессе поднятия тяжестей, может предотвратить травмы поясничного отдела позвоночного столба. Вместе с тем взаимосвязь между внутрибрюшным давлением и состоянием поясничного отдела позвоночника является малоизученной. Поэтому междисциплинарные исследования, направленные на установление количественных зависимостей описываемого явления, являются необходимыми с точки зрения разработки профилактических мероприятий по снижению травматичности поясничных элементов позвоночника.

#### Список литературы

1. Гельфанд Б.Р., Проценко Д.Н., Подачин П.В., Чубченко С.В., Лапина И.Ю. Синдром интраабдоминальной гипертензии: состояние проблемы // Медицинский алфавит. Неотложная медицина. – 2010. – Т. 12, № 3. – С. 36–43.
2. Жарнов А.М., Жарнова О.А. Биомеханические процессы в межпозвонковом диске шейного отдела позвоночника при его движении // Российский журнал биомеханики. – 2013. – Т. 17, № 1. – С. 32–40.
3. Синельников Р.Д. Атлас анатомии человека. В 3-х томах. Т. 1. – М.: Медгиз, 1963. – 477 с.
4. Туктамышев В.С., Кучумов А.Г., Няшин Ю.И., Самарцев В.А., Касатова Е.Ю. Внутрибрюшное давление человека // Российский журнал биомеханики. – 2013. – Т. 17, № 1. – С. 22–31.
5. Arjmand N., Shirazi-Adl A. Model and in vivo studies on human trunk load partitioning and stability in isometric forward flexions // Journal of Biomechanics. – 2006. – Vol. 39, № 3. – P. 510–521.
6. Bartelink D.L. The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral discs // Journal of Bone and Joint Surgery. – 1957. – Vol. 39. – P. 718–725.
7. Cholewicki J., Juluru K., Radebold A., Panjabi M.M., McGill S.M. Lumbar spine stability can be augmented with an abdominal belt and/or increased intra-abdominal pressure // European Spine Journal. – 1999. – Vol. 8, № 5. – P. 388–395.
8. Cholewicki J., McGill S.M. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain // Clinical Biomechanics. – 1996. – Vol. 11, № 1. – P. 1–15.
9. Daggfeldt K., Thorstensson A. The role of intra-abdominal pressure in spinal unloading // Journal of Biomechanics. – 1997. – Vol. 30, Nos. 11/12. – P. 1149–1155.
10. Gardner-Morse M., Stokes I.A., Laible J.P. Role of muscles in lumbar spine stability in maximum extension efforts //

Journal of Orthopaedic Research. – 1995. – Vol. 13, № 5. – P. 802–808.

11. Gracovetsky S. Function of the spine // *Journal of Biomedical Engineering*. – 1986. Vol. 8, № 3. – P. 217–223.

12. Granata K.P., Wilson S.E. Trunk posture and spinal stability // *Clinical Biomechanics*. – 2001. – Vol. 16, № 8. – P. 650–659.

13. Hodges P.W., Cresswell A.G., Daggfeldt K., Thorstensson A. In vivo measurement of the effect of intra-abdominal pressure on the lumbar spine // *Journal of Biomechanics*. – 2001. – Vol. 34, № 3. – P. 347–353.

14. Hodges P.W., Eriksson A.E., Shirley D., Gandevia S.C. Intra-abdominal pressure and abdominal wall muscular function: spinal unloading mechanism // *Journal of Biomechanics*. – 2005. – Vol. 38, № 9. – P. 1873–1880.

15. Hoogendoorn W.E., Bongers P.M., de Vet H.C., Douwes M., Koes B.W., Miedema M.C., Ariëns G.A., Bouter L.M. Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain: results of a prospective cohort study // *Spine*. – 2000. – Vol. 25, № 23. – P. 3087–3092.

16. Keith A. Man's posture: its evolution and disorders. Lecture IV. The adaptation of abdomen and its viscera to the orthograde posture // *British Medical Journal*. – 1923. – Vol. 21, № 1. – P. 587–590.

17. Marras W.S., Davis K.G., Ferguson S.A., Lucas B.R., Gupta P. Spine loading characteristics of patients with low back pain compared with asymptomatic individuals // *Spine*. – 2001. – Vol. 26, № 23. – P. 2566–2574.

18. Marras W.S., Lavender S.A., Leugans S.E., Rajulu S.L., Allread W.G., Fathallah F.A., Ferguson S.A. The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally related low back disorders: the effects of work-place factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury // *Spine*. – 1993. – Vol. 18, № 5. – P. 617–628.

19. McGill S.M., Norman R.W. Reassessment of the role of intraabdominal pressure in spinal compression // *Ergonomics*. – 1987. – Vol. 30. – P. 1565–1588.

20. Morris J.M., Lucas D.M., Bresler B. Role of the trunk in stability of the spine. *Journal of Bone and Joint Surgery*. – 1961. – Vol. 43. – P. 327–351.

21. Ortengren R., Andersson G.B., Nachemson A.L. Studies of relationships between lumbar disc pressure, myoelectric back muscle activity, and intra-abdominal (intra-gastric) pressure // *Spine*. – 1981. – Vol. 6, № 1. – P. 513–520.

22. Punnett L., Fine L.J., Keyserling W.M., Herrin G.D., Chaffin D.B. Back disorders and nonneutral trunk postures of automobile assembly workers // *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*. – 1991. – Vol. 17, № 5. P. 337–346.

23. Takahashi I., Kikuchi S., Sato K., Sato N. Mechanical load of the lumbar spine during forward bending motion of the trunk-a biomechanical study // *Spine*. – 2006. – Vol. 31, № 1. – P. 18–23.

24. World Society of the Abdominal Compartment Syndrome [электронный ресурс]. – URL: <http://www.wsacs.org> (Дата обращения: 15.05.2013).

### References

1. Gelfand B.R., Protsenko D.N., Podachin P.V., Chubchenko S.V., Lapina I.Yu. Sindrom intraabdominalnoi gipertenzii: sostoyanie problemy [The abdominal compartment syndrome: the state of the problem]. *Meditsinskii alfavit. Neotlozhnaya meditsina*, 2010, vol. 12, no. 3, pp. 36–43.

2. Zharnov A.M., Zharnova O.A. Biomechanical processes in the intervertebral cervical disk of the spine at its motion. *Russian Journal of Biomechanics*, 2013, vol. 17, no. 1, pp. 32–40.

3. Sinelnikov R.D. *Atlas anatomii cheloveka. Tom 1* [The Atlas of the Human Anatomy. Vol. 1]. Moscow: Medgiz, 1963, 477 p.

4. Tuktamyshev V.S., Kuchumov A.G., Nyashin Yu.I., Samarcov V.A., E.Yu. Kasatova. Intra-abdominal pressure of human. *Russian Journal of Biomechanics*, 2013, vol. 17, no. 1, pp. 22–31.

5. Arjmand N., Shirazi-Adl A. Model and in vivo studies on human trunk load partitioning and stability in isometric forward flexions. *Journal of Biomechanics*, 2006, vol. 39, no. 3, pp. 510–521.

6. Bartelink D.L. The role of abdominal pressure in relieving the pressure on the lumbar intervertebral discs. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 1957, vol. 39, no. 4, pp. 718–725.

7. Cholewicki J., Juluru K., Radebold A., Panjabi M.M., McGill S.M. Lumbar spine stability can be augmented with an

abdominal belt and/or increased intra-abdominal pressure. *European Spine Journal*, 1999, vol. 8, no. 5, pp. 388–395.

8. Cholewicki J., McGill S.M. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clinical Biomechanics*, 1996, vol. 11, no. 1, pp. 1–15.

9. Daggfeldt K., Thorstensson A. The role of intra-abdominal pressure in spinal unloading. *Journal of Biomechanics*, 1997, vol. 30, nos. 11/12, pp. 1149–1155.

10. Gardner-Morse M., Stokes I.A., Laible J.P. Role of muscles in lumbar spine stability in maximum extension efforts. *Journal of Orthopaedic Research*, 1995, vol. 13, no. 5, pp. 802–808.

11. Gracovetsky S. Function of the spine. *Journal of Biomedical Engineering*, 1986, vol. 8, no. 3, pp. 217–223.

12. Granata K.P., Wilson S.E. Trunk posture and spinal stability. *Clinical Biomechanics*, 2001, vol. 16, no. 8, pp. 650–659.

13. Hodges P.W., Cresswell A.G., Daggfeldt K., Thorstensson A. In vivo measurement of the effect of intra-abdominal pressure on the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*, 2001, vol. 34, no. 3, pp. 347–353.

14. Hodges P.W., Eriksson A.E., Shirley D., Gandevia S.C. Intra-abdominal pressure and abdominal wall muscular function: spinal unloading mechanism. *Journal of Biomechanics*, 2005, vol. 38, no. 9, pp. 1873–1880.

15. Hoogendoorn W.E., Bongers P.M., de Vet H.C., Douwes M., Koes B.W., Miedema M.C., Ariëns G.A., Bouter L.M. Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain: results of a prospective cohort study. *Spine*, 2000, vol. 25, no. 23, pp. 3087–3092.

16. Keith A. Man's posture: its evolution and disorders. Lecture IV. The adaptation of abdomen and its viscera to the orthograde posture. *British Medical Journal*. 1923, vol. 21, no. 1, pp. 587–590.

17. Marras W.S., Davis K.G., Ferguson S.A., Lucas B.R., Gupta P. Spine loading characteristics of patients with low back pain compared with asymptomatic individuals. *Spine*, 2001, vol. 26, no. 23, pp. 2566–2574.

18. Marras W.S., Lavender S.A., Leugans S.E., Rajulu S.L., Allread W.G., Fathallah F.A., Ferguson S.A. The role of dynamic three-dimensional trunk motion in occupationally related low back disorders: the effects of work-place factors, trunk position, and trunk motion characteristics on risk of injury. *Spine*, 1993, vol. 18, no. 5, pp. 617–628.

19. McGill S.M., Norman R.W. Reassessment of the role of intraabdominal pressure in spinal compression. *Ergonomics*, 1987, vol. 30, no.11, pp. 1565–1588.

20. Morris J.M., Lucas D.M., Bresler B. Role of the trunk in stability of the spine. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 1961, vol. 43, no. 3, pp. 327–351.

21. Ortengren R., Andersson G.B., Nachemson A.L. Studies of relationships between lumbar disc pressure, myoelectric back muscle activity, and intra-abdominal (intra-gastric) pressure. *Spine*, 1981, vol. 6, no 1, pp. 513–520.

22. Punnett L., Fine L.J., Keyserling W.M., Herrin G.D., Chaffin D.B. Back disorders and nonneutral trunk postures of automobile assembly workers. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*, 1991, vol. 17, no. 5, pp. 337–346.

23. Takahashi I., Kikuchi S., Sato K., Sato N. Mechanical load of the lumbar spine during forward bending motion of the trunk-a biomechanical study. *Spine*, 2006, vol. 31, no. 1, pp. 18–23.

24. World Society of the Abdominal Compartment Syndrome, available at: <http://www.wsacs.org> (accessed: 15 May 2013).

### Рецензенты:

Акулич Ю.В., д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической механики, ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь;

Гуляева И.Л., д.м.н., заведующая кафедрой патологической физиологии, ГБОУ ВПО «Пермская государственная медицинская академия им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава РФ, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 18.06.2013.