

УДК 612.76

**БИОМЕХАНИКА НАРУШЕНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ И ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМ У ОПЕРАТОРОВ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ИНСПЕКЦИОННО-ДОСМОТРОВЫХ КОМПЛЕКСОВ И ДОСМОТРОВЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ АППАРАТОВ**

Афонин Д.Н.

*Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии***BIOMECHANICS OF DISORDERS OF THE MUSCULOSKELETAL AND RESPIRATORY SYSTEMS IN OPERATORS OF IMAGE ANALYSIS OF INSPECTION COMPLEXES AND INSPECTION X-RAY MACHINES**

Afonin D.N.

*St. Petersburg named after V.B. Bobkov Branch of the Russian Customs Academy***Аннотация**

В статье рассмотрены вопросы биомеханики нарушений опорно-двигательной и дыхательной систем у операторов анализа изображений инспекционно-досмотровых комплексов и досмотровых рентгеновских аппаратов. Неправильное положение тела оператора анализа изображений ИДК и ДРТ способствует формированию нарушений особенно в шейном и поясничном отделах позвоночника и приводит к нарушению функционирования дыхательной системы. Поддержание физиологической кривизны позвоночника при работе оператора анализа изображений ИДК и ДРТ, особенно положения головы и таза, имеет решающее значение для биомеханики опорно-двигательного аппарата, снижает вероятность развития патологических процессов и тем самым повышает эффективность работы.

**Ключевые слова:** биомеханика, опорно-двигательная система, дыхательная система, операторы анализа изображений.

**Abstract**

The article considers the issues of biomechanics of disorders of the musculoskeletal and respiratory systems in operators of image analysis of inspection and inspection X-ray machines. Incorrect position of the body of the operator of image analysis of inspection and inspection X-ray machines contributes to the formation of disorders, especially in the cervical and lumbar spine and leads to disruption of the functioning of the respiratory system. Maintaining the physiological curvature of the spine during the work of the operator of image analysis of inspection complexes and inspection X-ray machines, especially the position of the head and pelvis, is crucial for the biomechanics of the musculoskeletal system, reduces the likelihood of developing pathological processes and thereby increases the efficiency of work.

**Keywords:** biomechanics, musculoskeletal system, respiratory system, image analysis operators.

**Ссылка для цитирования:** Афонин Д.Н. Биомеханика нарушений опорно-двигательной и дыхательной систем у операторов анализа изображений инспекционно-досмотровых комплексов и досмотровых рентгеновских аппаратов // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7. – № 3(27). – С. 47-51. – EDN AGHLBN.

Операторы анализа изображений инспекционно-досмотровых комплексов и досмотровых рентгеновских аппаратов (далее – ИДК и ДРТ) проводят много часов в положении сидя за компьютерами, выполняя свои профессиональные обязанности. При этом нельзя сказать, что положение их тел является физиологическим. Длительная работа за компьютером может привести к серьезным проблемам со стороны опорно-

двигательного аппарата и болевым синдромам [1, 2], усугубляющиеся постоянным стрессом, обусловленным большой психологической нагрузкой [3, 4]. Сидячая работа требует минимальных затрат энергии от 1 до 1.5 METs [5]. Такое рабочее положение в сочетании с минимальными физическими нагрузками приводит к длительному напряжению мышц шеи и плеч, стабилизирующих положение головы при длительном сгибании шеи, приводит к увеличению нагрузки

на суставы позвоночника в шейном и грудном отделах [6], следствием чего являются головные боли и боли в шее, иррадиирующие в верхние конечности [7, 8]. Формируется синдром верхнего креста, характеризующийся ослаблением глубоких мышц шеи, ромбовидных и передних зубчатых мышц, а также напряжением грудных и верхних трапециевидных мышц. Степень натяжения мягких тканей в значительной степени определяется положением туловища оператора анализа изображений ИДК и ДРТ при работе [6, 9].

Описаны три типа стандартизированных груднопоясничных сидячих поз: пояснично-тазовая, вертикальная в грудном отделе и сутулая. Работа сидя в согнутом положении значительно увеличивает напряжение разгибателей шеи и грудных мышц в результате смещения головы вперед. Кроме того, это положение увеличивает сгибание шеи, тем самым уменьшая нижний шейный лордоз, вызывая увеличение грудного кифоза. Сочетание повышенного напряжения разгибателей шеи и сгибания шейного отдела позвоночника создает области напряжения в шее, что приводит к болевым синдромам [10]. Принятие такой сидячей позы операторами анализа изображений ИДК и ДРТ при выполнении профессиональных задач приводит к сокращению мышц грудной клетки, ограничивая их подвижность нарушая при этом кинематическое взаимодействие между лопаткой и плечевой костью (плечелопаточный ритм) [6].

Вес головы составляет примерно одну седьмую от веса всего тела человека, а расположение дисплея перед оператором анализа изображений ИДК и ДРТ способствует смещению головы вперед, создавая дополнительную нагрузку на мышцы шеи, плеч и верхних конечностей. Следствием этого являются описанное напряжение мышц, укорочение мягких тканей, прогрессирующая слабость связочных структур и дегенеративные изменения в позвоночнике, приводящие к компрессии и травматизации нервов, идущих от шейного отдела позвоночника [11, 12].

Кроме того, причинами болевых синдромов могут являться нарушение эргономики положения верхних конечностей из-за неправильной регулировки высоты сидения, а также индивидуальные особенности организма оператора анализа изображений ИДК и ДРТ, обусловленные полом, возрастом,

весом, привычками, наличием уже имеющихся деформаций позвоночника [11, 12, 13, 14].

Малоподвижная сидячая работа операторов анализа изображений ИДК и ДРТ приводит к перераспределению нагрузки на анатомические структуры поясничного отдела позвоночника и является одним из факторов риска возникновения болей в пояснице [6, 15]. Сутулая поза приводит к выравниванию поясничного лордоза и увеличивает давление на межпозвоночные диски, при котором передняя их часть сжимается, а задняя растягивается. Такая ситуация приводит к обратному смещению пульпозного ядра, что со временем может привести к развитию грыжи межпозвоночного диска.

Как правило, операторы анализа изображений ИДК и ДРТ используют кресла со спинками. Между тем доказано, что сиденье без поддержки спины сохраняет поясничный лордоз и сопровождается снижением мышечного напряжения в поясничной области. Напротив, спинка сиденья предрасполагает к кифотическому положению, сглаживая поясничный лордоз и способствуя заднему наклону таза. Следствием увеличенного наклона таза назад является снижение активации длинных мышц спины, а также слабость мышц живота и ягодич [16]. Доказана взаимосвязь между сутулым положением и низкой активностью поперечной мышцы живота [17]. Данное положение тела также уменьшает амплитуду движения диафрагмы и приводит к активации вспомогательных дыхательных мышц [6]. Кроме того, выравнивание поясничного лордоза и рост грудного кифоза увеличивает риск снижения подвижности плечевого сустава во всех направлениях и провоцирует болевые ощущения [18, 19].

Выявлено, что длительная работа в сидячем положении приводит к росту риска онкологических заболеваний, в частности, повышению риска развития рака молочной железы на 15,5% [20].

Дыхание является сложным биомеханическим процессом, обусловленным синхронным взаимодействием мышц шеи, туловища, живота, плечевого и тазового пояса. Поэтому положение тела влияет на дыхательную функцию и подвижность грудной клетки и диафрагмы [21, 22]. Даже незначительные различия в позе сидя влияют как на трехмерную подвижность грудной клетки, так и на дыхательный объем. С другой сто-

роны, гибкость дыхательной системы позволяет адаптироваться к изменениям положения тела и стимулировать работу соответствующих мышц для поддержания нормальной функции дыхательной системы [21]. Проведенные рядом авторов исследования показали, что по сравнению с положением стоя сидение уменьшает подвижность как грудной клетки, так и живота [22, 23, 24]. Амплитуда дыхательных движений сидящего человека уменьшается с уменьшением угла наклона спинки кресла. Частота дыхания, дыхательный объем и минутная вентиляция легких имеют более высокие значения в положении сидя без поддержки спины [24]. Суточная посадка операторов анализ изображений ИДК и ДРТ неизбежно приведет к снижению спирометрических показателей по сравнению с положением, поддерживающим физиологическую кривизну позвоночника [25]. Так, поддержание физиологических искривлений позвоночника является условием правильной работы диафрагмы. Выравнивание лордоза и увеличение кифоза при анализе изображений ухудшают диафрагмальное дыхание и увеличивает дыхание в верхних дыхательных путях [6, 26]. Также и нефизиологическая ротация тела изменяет активность межреберных, брюшных и длинных мышц спины, нарушая тем самым дыхательный процесс [27, 28].

Поскольку длительная работа сидя приводит к развитию ряда описанных выше патологических процессов, большое внимание уделяется конструкции стульев (кресел), позволяющих сохранить физиологическую форму тела и тем самым уменьшить нагрузку на мягкие ткани и позвоночник. Одну из первых попыток сконструировать ортопедическое кресло предпринял немецкий ортопед F. Staffel в XIX веке. В своей работе он подчеркивал важность поясничной поддержки позвоночника, он не смог объяснить ее необходимость с точки зрения биомеханики [15, 29].

В 1980-х годах была доказана необходимость валика, поддерживающего поясничный отдел позвоночника. Авторы данной конструкции продемонстрировали, что его использование изменяет позу сидя и помогает поддерживать поясничный лордоз, тем самым предотвращая боли в пояснице. Им было доказано, что сглаживание поясничного лордоза влияет на передний наклон таза и физиологическую кривизну шейного, грудного и поясничного отделов позвоноч-

ника [30]. Последующие исследования подтвердили, что сидение с так называемым "длинным" лордозом в нижней части позвоночника является наиболее правильным, поскольку оно устанавливает позвоночник в физиологическое положение [32, 33], и выявили важность наклона сидения и спинки относительно пола. Было показано, что стулья с регулируемой спинкой влияют на углы пересечения сегментов, особенно L1-L2 и L4-L5, и лучше поддерживают поясничный лордоз, чем стулья без спинки [31].

Проведенные биомеханические исследования показали, что сидение с поддержкой поясницы поддерживает правильный угол между позвонками L5/S1, уменьшая напряжение и растяжение мягких тканей, тем самым предотвращая перегрузку межпозвоночного диска в L4/L5, что снижает риск перегрузки и дискомфорта, в то время как повышенное сгибание в пояснице приводит к формированию болевого синдрома [34, 35]. Для уменьшения дискомфорта в нижних отделах позвоночника лицам длительно работающим сидя были рекомендованы две позы: 1) характеризующиеся разгибанием в поясничном и грудном отделах позвоночника и 2) поддержанием физиологического поясничного лордоза и расслаблением в грудном отделе позвоночника [36, 37].

Большое значение для обеспечения физиологического положения тела имеет положение головы оператора анализа изображений ИДК и ДРТ [6, 38, 39, 40]. Так, установка экрана монитора на уровне глаз позволяет избежать перегрузки мышц шеи и плечевого пояса [41, 42]. Было показано, что установка монитора на уровне глаз под углом в 30° уменьшает гиперэкстензию в суставах C0-C1 и C1-C2, что оказывает положительное влияние на шейный отдел позвоночника [38]. Другие исследователи отмечают, что оптимальное положение экрана должно быть на 15° градусов ниже горизонтальной линии глаза [11, 12]. Поддержание физиологического грудного кифоза в положении сидя может уменьшить общее сгибание шейного отдела позвоночника и, следовательно, наклон головы вперед. Эта взаимосвязь подтверждается уменьшением напряжения в мышцах-разгибателях шеи [10].

Также важно положение верхних конечностей оператора анализа изображений ИДК и ДРТ при работе: руки должны обладать полной свободой движений, в то время

как предплечья и локти должны поддерживаться подлокотниками [6, 41, 42]. Угол между рукой и предплечьем при наборе текста, например, должен составлять 100° [6, 11]. Эти рекомендации важны для профилактики синдрома запястного канала и расстройств плечевого пояса.

Во время многочасовой работы операторов анализа изображений ИДК и ДРТ важным фактором является правильное расположение суставов нижних конечностей. Например, рекомендуется при работе слегка сгибать ноги (0-15°) и опираться на подпорки или пол [15]. Для активации мышечного насоса и улучшения кровообращения в нижних конечностях рекомендуется периодически осуществлять движения в голеностопных суставах [6, 41, 42]. Рекомендуется поддерживать небольшое сгибание в коленном и тазобедренном суставах на 95-100°. Это положение обеспечивает наклон таза вперед, который можно еще больше увеличить, выдвинув одну ногу еще дальше вперед [15, 41].

В дополнение к правильной осанке тела необходимо делать короткие перерывы для

отдыха мышц шеи и спины, а также физические упражнения для предотвращения повышенного мышечного напряжения и перегрузки опорно-двигательного аппарата [11, 16].

Таким образом,

1. Неправильное положение тела оператора анализа изображений ИДК и ДРТ способствует формированию нарушений особенно в шейном и поясничном отделах позвоночника и приводит к нарушению функционирования дыхательной системы.

2. Поддержание физиологической кривизны позвоночника при работе оператора анализа изображений ИДК и ДРТ, особенно положения головы и таза, имеет решающее значение для биомеханики опорно-двигательного аппарата, снижает вероятность развития патологических процессов и тем самым повышает эффективность работы.

3. При обучении операторов анализа изображений ИДК и ДРТ по программам дополнительного профессионального образования на факультетах повышения квалификации необходимо уделять внимание профилактике у них нарушений опорно-двигательной и дыхательной систем.

## Список литературы

1. Afonin D.N., Afonin P.N. Biomechanics of Professional Pathology of the Spine in Operators of X-ray Cargo-Vision Systems // Proceedings of 2022 25th International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2022: 25, St. Petersburg, 25-27.05.2022. – St. Petersburg, 2022. – P. 266-268. – DOI 10.1109/SCM55405.2022.9794855. – EDN YJMNQX

2. Афонин П.Н., Афонин Д.Н. Биотехнический комплекс для экспресс-диагностики состояния здоровья сотрудников таможенных органов // Ученые записки Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. – 2001. – № 2(15). – С. 289-293. – EDN QQJMIW.

3. Афонин Д.Н., Афонин П.Н. Исследование психофизиологических факторов, определяющих эффективность деятельности операторов анализа изображений // Bulletin of the International Scientific Surgical Association. – 2017. – Т. 6, № 1. – С. 26-28. – EDN XYBLZP.

4. Афонин П.Н., Афонин Д.Н., Зубов В.А. и др. Распознавание образов при таможенном контроле с применением ИДК и ДРТ: Монография; Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал Российской таможенной академии, 2017. – 220 с. – EDN QHYGAL.

5. Dunstan D.W., Howard B., Healy G.N., Owen N. Too much sitting - A health hazard // Diabetes Res. Clin. Pract. – 2012. – Vol. 97, N 3. – P. 368-379.

6. Groszek M., Babula G., Nagraba E. et al. Zagrozenia powstajace w wyniku niewlasciwej postawy siedzecej // Artoskopia i Chirurgia Stawow. – 2011. – Vol. 7, N 3-4. – P. 50-61.

7. Harrison D.E., Harrison D.D., Janik T.J. et al. Comparison of axial and flexural stresses in lordosis and three buckled configurations of the cervical spine // Clin. Biomech. – 2001. – Vol. 16, N 4. – P. 276-284.

8. Fernandes-de-Las-Penas C., Alonso-Blanco C., Cuadrado M.L., Pareja J.A. Trigger points in the suboccipital muscles and forward head posture in tension-type headache // Headache. – 2006. – Vol. 43, N 3. – P. 225-230.

9. Jung-Ho K., Rea-Young P., Su-Jin L et al. The effect of the forward head posture on postural balance in long time computer-based worker // Ann. Rehabil. Med. – 2012. – Vol. 36, N 1. – P. 98-104.

10. Caneiro J.P., O'Sullivan P., Burnett A. et al. The influence of different sitting postures on head/neck posture and muscle activity // Man Ther. – 2010. – N 15. – P. 54-60.

11. Ming Z., Narhi M., Siivola J. Neck and shoulder pain related to computer use // Pathophysiol. – 2004. – Vol. 11, N 1. – P. 51-56.

12. Ming Z. Computer use related upper limb musculoskeletal disorders // Pathophysiol. – 2003. – Vol. 9, N 3. – P. 155-160.

13. O'Sullivan K., O'Dea P., Dankaerts W. et al. Neutral lumbar spine sitting posture in pain-free subjects // Man Ther. – 2010. – Vol. 15, N 6. – P. 557-561.

14. Dunk N.M., Callaghan J.P. Gender-based differences in postural responses to seated exposures // Clin. Biomech. – 2005. – Vol. 20, N 10. – P. 1101-1110.

15. Leavitt S.B., Steward B. Sitting smarter // *Health Facil. Manage.* – 1995. – Vol. 8, N. 6. – P. 22-28.
16. Morl F., Bradl I. Lumbar posture and muscular activity while sitting during office work // *J. Electromyogr. Kinesiol.* – 2012. – Vol. 23, N 2. – P. 1-6.
17. Rasouli O., Arab A.M., Amiri M., Jaberzadeh S. Ultrasound measurement of deep abdominal muscle activity in sitting positions with different stability levels in subjects with and without chronic low back pain // *Man Ther.* – 2011. – Vol. 16, N 4. – P. 388-393.
18. Kanlayanaphotporn R. Changes in sitting posture affect shoulder range of motion // *Bodyw Mov. Ther.* – 2013. P. 1-5.
19. Lewis J.S., Wright C., Green A. Subacromial impingement syndrome: the effect of changing posture on shoulder range of movement // *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* – 2005. – Vol. 36, N 2. – P. 72-87.
20. Lee J., Lee J.Y., Lee D.-W. et al. Sedentary work and breast cancer risk: A systematic review and meta-analysis // *J Occup Health.* 2021 Jan;63(1):e12239. doi: 10.1002/1348-9585.12239.
21. Lee L.J., Chang A.T., Cooppieters M.W. Changes in sitting posture induce multiplanar changes in chest wall shape and motion with breathing // *Respir. Physiol. Neurobiol.* – 2010. – Vol. 170, N 3. – P. 236-245.
22. Kaneko H., Horie J. Breathing movements of the chest and abdominal wall in healthy subjects // *Respir. Care.* – 2012. – Vol. 57, N 9. – P. 1442-1451.
23. Wang H.K., Lu T.W., Liang R.J. et al. Relationship between chest wall motion and diaphragmatic excursion in healthy adults in supine position // *J. Formos. Med. Assoc.* – 2009. – Vol. 108, N. 7. – P. 577-586.
24. Romei M., Lo Mauro A., D'Angelo M.G. et al. Effects of gender and posture on thoraco-abdominal kinematics during quiet breathing in healthy adults // *Respir. Physiol. Neurobiol.* – 2010. – Vol. 172, N 3. – P. 184-191.
25. Lin F., Parthasarathy S., Taylor J. et al. Effect of Different Sitting Postures on Lung Capacity, Expiratory Flow, and Lumbar Lordosis // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* – 2006. – Vol. 87, N 4. – P. 504-509.
26. Hodges P., Heijnjen I., Gandevia S.C. Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases // *J. Physiol.* – 2001. – N 537. – P. 999-1008.
27. Whitelaw W.A., Ford G.T., Rimmer K.P., De Troyer A. Intercostal muscles are used during rotation of the thorax in humans // *J. Appl. Physiol.* – 1992; 72, N 5. – P. 1940-1944.
28. Rimmer K.P., Ford G.T., Whitelaw W.A. Interaction between postural and respiratory control of human intercostal muscles // *J. Appl. Physiol.* – 1995. – Vol. 79, N 5. – P. 1556-1561.
29. Staffel F. Zur Hygiene des citizens // *Zbl. F. Allg. Gesundheitspflege.* – 1884. – N 3. – P. 403-421.
30. Majeske C., Buchanan C. Quantitative description of two sitting postures- with and without a lumbar support pillow // *Physical Therapy.* – 1984. – Vol. 64, N 10. – P. 1531-1535.
31. Lengsfeld M., Frank A., van Deursen L. Lumbar spine curvature during office chair sitting // *Med. Eng. Phys.* – 2000. – Vol. 22, N 9. – P. 665-669.
32. Claus A.P., Hides J.A., Morseley G.L., Hodges P.W. Is 'ideal' sitting posture real? Measurement of spinal curves in four sitting postures // *Man Ther.* – 2009. – Vol. 14, N 4. – P. 404-408.
33. Scannell J.P., McGill S.M. Lumbar posture - should it, and can it, be modified? A study of passive tissue stiffness and lumbar position during activities of daily living // *Phys. Ther.* – 2003. – Vol. 83, N 10. – P. 907-917.
34. De Carvalho D.E., Soave D., Ross K., Callaghan J.P. Lumbar spine and pelvic posture between standing and sitting: A radiologic investigation including reliability and repeatability of the lumbar lordosis measure // *J. Manipulative Physiol. Ther.* – 2010. – Vol. 33, N 1. – P. 48-55.
35. De Carvalho D.E., Callaghan J.P.. Influence of automobile seat lumbar support prominence on spine and pelvic postures A radiological investigation // *J. Manipulative Physiol. Ther.* – 2011. – Vol. 43, N 5. – P. 876-882.
36. O'Sullivan K., O'Sullivan P., O'Sullivan L., Dankert W. What do physiotherapists consider to be the best sitting spinal posture? // *Manual. Therapy.* – 2012. – Vol. 17, N 5. – P. 432-437.
37. O'Sullivan K., O'Keefe M., O'Sullivan L. et al. Perceptions of sitting posture among members of the community, both with and without non-specific chronic low back pain // *Man Ther.* – 2013. – Vol. 18, N 6. – P. 551-556.
38. Burgess-Limerick R., Plooy A., Fraser K. The influence of computer monitor height on head and neck posture // *Industrial Ergonomics.* – 1999. – N 23. – P. 171-179.
39. Harrison D.D., Harrison S.O., Croft A.C. et al. Sitting biomechanics part I: review of the Literature // *J. Manipulative Physiol. Ther.* – 1999. – Vol. 22, N 9. – P. 594-609.
40. Schmidt S., Amereller M., Franz M. et al. A literature review on optimum and preferred joint angles in automotive sitting posture // *App. Ergon.* – 2013. – Vol. 45, N 2. – P. 1-14.
41. Corlett E.N. Ergonomics and sitting at work // *Work.* – 2009. – Vol. 34, N 2. – P. 235-238.
42. Corlett E.N. Sitting as a hazard // *Safety Science.* – 2008. – N 46. – P. 815-821.

Поступила в редакцию 01.06.2023

### Сведения об авторе:

Афонин Дмитрий Николаевич – профессор кафедры таможенного дела Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии, доктор медицинских наук, доцент, e-mail: [dnafonin@gmail.com](mailto:dnafonin@gmail.com)

