

УДК ???

ИНВЕРСНАЯ МОДЕЛЬ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА, ОСНОВАННАЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ КТ И АНАЛИЗЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ*

П. ГАО

*Шаньдунская Политехника,
Китай, Цзинань*

Аннотация. Для точного анализа наиболее уязвимых точек перелома нормальных поясничных позвонков человека при вертикальном положении, ходьбе и повороте влево-вправо, компьютерная томография (КТ) использовалась для сканирования участка от верхнего края поясничного позвонка L1 (первый позвонок) до нижнего края поясничного позвонка L5. После считывания изображений КТ с помощью программного обеспечения Mimics, проведен пороговый анализ, сегментация области, и полное заполнение. Сформированная 3D модель была реконструирована с помощью модуля FEA (анализ методом конечных элементов, Finite Element Analysis) программного продукта Mimics, и использовалась трехмерная модель поясничного отдела с межпозвоночным диском, созданная прикладной программой UG. Полученная модель импортировалась в систему ANSYS Workbench для исследования методом конечных элементов. Полученные результаты показали, что, когда тело в вертикальном положении, смещение тела позвонка больше, чем смещение суставного отростка. Смещение переднего края верхней поверхности диска было наибольшим и составило 0,161 мм. Эквивалентное напряжение сосредоточено на суставном отростке и остистом отростке, а напряжение на нижнем суставном отростке L4 является наибольшим (15,073 МПа), указывая на то, что относительная ошибка между результатом анализа методом конечных элементов (КЭА) и результатом теоретического расчета невелика, что свидетельствует о правильности и допустимости этого метода.

Ключевые слова: изображение КТ; компьютерная томография; инверсное моделирование; анализ методом конечных элементов; КЭА

1. ВВЕДЕНИЕ

Поясничный отдел позвоночника человека состоит из сложных структур, которые несут огромные нагрузки и обеспечивают опору при движении человека. Согласно результатам обследований, более 80% людей страдают из-за боли в пояснице различной степени тяжести, что находится на втором месте по рас-

пространенности и уступает только простуде [1].

С возрастанием рабочей нагрузки в наше время, число случаев проблем с поясницей возрастает год от года. С помощью анализа патогенеза заболевания поясницы установлено, что, когда поясничная опора человеческого тела слишком большая или неровная, соответ-

* Предварительные материалы данной статьи доложены на конференции Futuristic Trends in Networks and Computing Technologies FTNCT (Nagar, 2019).

REFERENCES

1. Y. Tao *et al.*, “Biomechanical characteristics of lumbar vertebra fixation based on finite element analysis,” *Chinese J. Tissue Eng. Res.*, vol. 20, no. 13, pp. 1932–1938, 2016, doi: [10.3969/j.issn.2095-4344.2016.13.015](https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-4344.2016.13.015).
2. V. Argesanu *et al.*, “Highlighting the maxillofacial trauma influence on posture by FEA modeling simulation,” in *SISY 2016 - IEEE 14th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, Proceedings*, 2016, pp. 129–134, doi: [10.1109/SISY.2016.7601484](https://doi.org/10.1109/SISY.2016.7601484).
3. H. Li, F. Li, N. Liu, and P. Li, “Risk prediction of femoral head necrosis: a finite element analysis based on fracture mechanics,” *Int. J. Comput. Methods*, vol. 17, no. 6, 2020, doi: [10.1142/S0219876219500191](https://doi.org/10.1142/S0219876219500191).
4. H. M. Xu, S. L. Pu, Y. G. Jiang, X. Y. Li, and P. Dong, “Establishment and preliminary application of a laryngomalacia larynx three-dimension model,” *Lin chuang er bi yan hou tou jing wai ke za zhi = J. Clin. Otorhinolaryngol. head, neck Surg.*, vol. 32, no. 12, pp. 891–894, 2018, doi: [10.13201/j.issn.1001-1781.2018.12.003](https://doi.org/10.13201/j.issn.1001-1781.2018.12.003).
5. Y. Sun, H. Chen, Y. Sun, Q. Zhang, and Y. Hu, “Deformation analysis of lumbar spine based on mechanics of materials and finite element method,” in *2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO 2017*, 2018, vol. 2018-Janua, pp. 1–5, doi: [10.1109/ROBIO.2017.8324606](https://doi.org/10.1109/ROBIO.2017.8324606).
6. И. А. Сушко, “Визуализация распределений поверхностных проводимостей томографического сечения методом зон проводимости,” *Известия вузов. Радиоэлек-*

троники, vol. 56, no. 7, pp. 60–68, 2013, doi: [10.20535/S0021347013070078](https://doi.org/10.20535/S0021347013070078).

7. H. Luo, G. Liu, J. Fu, and C. Yu, “Vibration response analysis of the lumbar spine based on high-speed train crew,” in *2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, CYBER 2017*, 2018, pp. 220–224, doi: [10.1109/CYBER.2017.8446591](https://doi.org/10.1109/CYBER.2017.8446591).

8. J. P. Gjolaj, S. Elmasry, S. Asfour, F. Travascio, and F. J. Eismont, “Implications of decompressive surgical procedures for lumbar spine stenosis on the biomechanics of the adjacent segment: a finite element analysis,” *Spine J.*, vol. 15, no. 10, pp. S96–S97, 2015, doi: [10.1016/j.spinee.2015.07.039](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2015.07.039).

9. Z. Zhang, Y. Li, Z. Liao, and W. Liu, “Research progress and prospect of applications of finite element method in lumbar spine biomechanics,” *Sheng wu yi xue gong cheng xue za zhi = J. Biomed. Eng. = Shengwu yixue gongchengxue zazhi*, vol. 33, no. 6, pp. 1196–1202, 2016, uri: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29715419/>.

10. Q. H. Zhang, E. C. Teo, “Finite element application in implant research for treatment of lumbar degenerative disc disease,” *Medical Engineering & Phys.*, Vol. 30, No. 10, p. 1246–1256, 2008, doi: [10.1016/j.medengphy.2008.07.012](https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2008.07.012).

11. C. Yaldiz *et al.*, “Comparison of the rigid rod system with modular plate with the finite element analysis in short-segment posterior stabilization in the lower lumbar region,” *Turkish Neurosurg.*, vol. 27, no. 4, pp. 610–616, 2017, doi: [10.5137/1019-5149.JTN.16203-15.1](https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.16203-15.1).

12. E. Punarselvam and P. Suresh, “Investigation on human lumbar spine MRI image using finite element method and soft computing techniques,” *Clust. Comput.*, vol. 22, no. 6, pp. 13591–13607, 2019, doi: [10.1007/s10586-018-2019-0](https://doi.org/10.1007/s10586-018-2019-0).

13. D. S. Shin, K. Lee, and D. Kim, “Biomechanical study of lumbar spine with dynamic stabilization device using finite element method,” *CAD Comput. Aided Des.*, vol. 39, no. 7, pp. 559–567, 2007, doi: [10.1016/j.cad.2007.03.005](https://doi.org/10.1016/j.cad.2007.03.005).

14. М. В. Кононов, О. А. Нагуляк, А. В. Нетреба, А. А. Судаков, “Реконструкция в ЯМР методом псевдоинверсии матрицы сигналов,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, vol. 51, no. 10, pp. 21–25, 2008, doi: [10.20535/S0021347008100038](https://doi.org/10.20535/S0021347008100038).

15. Y. Guo and G. Song, “Ergonomic seat design based on high-speed rail random vibration environment effects on human lumbar,” *Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mech. Eng.*, vol. 26, no. 3, pp. 389–393, 2015, doi: [10.3969/j.issn.1004-132X.2015.03.018](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-132X.2015.03.018).

16. A. Tsouknidas, K. Anagnostidis, G. Maliaris, and N. Michailidis, “Fracture risk in the femoral hip region: A finite element analysis supported experimental approach,” *J. Biomech.*, vol. 45, no. 11, pp. 1959–1964, 2012, doi: [10.1016/j.jbiomech.2012.05.011](https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.05.011).

17. J. M. Liu *et al.*, “The effect of screw tunnels on the biomechanical stability of vertebral body after pedicle screws removal: a finite element analysis,” *Int. Orthop.*, vol. 41, no. 6, pp. 1183–1187, 2017, doi: [10.1007/s00264-017-3453-y](https://doi.org/10.1007/s00264-017-3453-y).

18. K. Li, J. Zhang, J. Jiang, and S. Ma, “Lumbar spinal finite element analysis in a gravity environment,” in *Eighth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2016)*, 2016, vol. 10033, p. 100334H, doi: [10.1117/12.2244610](https://doi.org/10.1117/12.2244610).

19. М. В. Кононов, О. А. Нагуляк, А. В. Нетреба, “Влияние распределения рентгеновского излучения в приемной системе на качество реконструкции в проекционной томографии,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, vol. 51, no. 3, pp. 63–66, 2008, doi: [10.20535/S0021347008030084](https://doi.org/10.20535/S0021347008030084).

20. X. Wang *et al.*, “Prediction of new clinical vertebral fractures in elderly men using finite element analysis of CT scans,” *J. Bone Miner. Res.*, vol. 27, no. 4, pp. 808–816, 2012, doi: [10.1002/jbmr.1539](https://doi.org/10.1002/jbmr.1539).

21. D. H. Pahr and P. K. Zysset, “Finite element-based mechanical assessment of bone quality on the basis of in vivo images,” *Curr. Osteoporos. Reports*, vol. 14, no. 6, pp. 374–385, 2016, doi: [10.1007/s11914-016-0335-y](https://doi.org/10.1007/s11914-016-0335-y).

Received April 17, 2020

Revised July 13, 2020

Accepted April 2, 2020