

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ BRIEF PAPERS

doi: 10.17586/2226-1494-2024-24-4-661-664

УДК 004.891

### Метод сегментации мышечной ткани на снимках компьютерной томографии на базе преобработанных трехканальных изображений

Анастасия Романовна Теплякова<sup>1</sup>, Роман Владимирович Шершнеv<sup>2</sup>,  
Сергей Олегович Старков<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ИАТЭ НИЯУ МИФИ), Обнинск, 249039, Российская Федерация

<sup>1</sup> [anastasija-t23@mail.ru](mailto:anastasija-t23@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8612-3850>

<sup>2</sup> [rvshershnev@yandex.ru](mailto:rvshershnev@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-2324-5893>

<sup>3</sup> [sergeystarkov56@mail.ru](mailto:sergeystarkov56@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0420-7856>

#### Аннотация

Представлены результаты исследования влияния метода преобработки, основанного на формировании трехканальных изображений, на точность моделей сегментации мышечной ткани на срезах компьютерной томографии, соответствующих уровням позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника. На данных масштабного набора Sparsely Annotated Region and Organ Segmentation обучено и протестировано 10 моделей. Получены значения коэффициента схожести Дайса и пересечения над объединением в диапазонах 0,9339–0,9421 и 0,8737–0,8885. Применение трехканального подхода к формированию входных данных повысило точность моделей четырех архитектур из пяти рассмотренных. Обученные модели могут применяться для быстрой и точной разметки мышечной ткани в процессе диагностики.

#### Ключевые слова

компьютерное зрение, сегментация, компьютерная томография, мышечная ткань, диагностика, U-Net

**Ссылка для цитирования:** Теплякова А.Р., Шершнеv Р.В., Старков С.О. Метод сегментации мышечной ткани на снимках компьютерной томографии на базе преобработанных трехканальных изображений // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24, № 4. С. 661–664. doi: 10.17586/2226-1494-2024-24-4-661-664

### Method of muscle tissue segmentation in computed tomography images based on preprocessed three-channel images

Anastasia R. Teplakova<sup>1</sup>, Roman V. Shershnev<sup>2</sup>, Sergey O. Starkov<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, 249039, Russian Federation

<sup>1</sup> [anastasija-t23@mail.ru](mailto:anastasija-t23@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8612-3850>

<sup>2</sup> [rvshershnev@yandex.ru](mailto:rvshershnev@yandex.ru), <https://orcid.org/0009-0000-2324-5893>

<sup>3</sup> [sergeystarkov56@mail.ru](mailto:sergeystarkov56@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0420-7856>

#### Abstract

The results of a study of a preprocessing influence method based on the formation of three-channel images on the accuracy of muscle tissue segmentation models on the computed tomography scans corresponding to the levels of the vertebrae of the thoracic and lumbar spine are presented. Ten models have been trained and tested on the Sparsely Annotated Region and Organ Segmentation dataset. The values of the Dice similarity coefficient and the Intersection over Union in the ranges of 0.9353–0.9421 and 0.8737–0.8885 were obtained. The use of a three-channel approach to the formation of input data increased the accuracy of models of four of the five architectures considered. Trained models can be used to quickly and accurately annotate muscle tissue during the diagnostic process.

**Keywords**

computer vision, segmentation, computed tomography, muscle tissue, diagnostics, U-Net

**For citation:** Teplyakova A.R., Shershnev R.V., Starkov S.O. Method of muscle tissue segmentation in computed tomography images based on preprocessed three-channel images. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2024, vol. 24, no. 4, pp. 661–664 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2024-24-4-661-664

Результаты исследования, описанного в работе [1], подтвердили целесообразность применения методов компьютерного зрения для решения задачи сегментации мышечной ткани на снимках компьютерной томографии (КТ) на уровне позвонка L3: даже при использовании в процессе обучения выборки малого объема модели продемонстрировали высокие значения коэффициента схожести Дайса (Dice similarity coefficient, DSC) и пересечения над объединением (Intersection over Union, IoU). В настоящей работе модели обучались уже на масштабном наборе данных, который включает в себя срезы КТ на уровнях всех позвонков грудного (Th1–Th12) и поясничного (L1–L5) отделов. Срезы на этих уровнях могут быть использованы для оценки количественных и качественных показателей мышечной ткани при отсутствии срезов на уровне позвонка L3 [2–5], что делает модели более универсальными. Предложенный подход к предобработке основан на формировании трехканальных снимков, каналы которых представляют вариации исходного снимка: с маскированием всего, что выходит за пределы тела пациента; с применением адаптивного выравнивания гистограмм с ограниченным усилением контраста; с применением анизотропного диффузного фильтра. Этот подход позволил повысить точность сегментации легковесной модели U-Net на малой обучающей выборке, в настоящей работе осуществляется оценка его влияния на точность моделей, обученных на масштабном наборе данных.

За основу взят набор данных Sparsely Annotated Region and Organ Segmentation (SAROS), опубликованный в 2023 году<sup>1</sup>. Он создан с использованием данных из The Cancer Imaging Archive (TCIA) [6] и включает 13 семантических меток областей тела, в число которых входит мышечная ткань. Разметка сначала выполнялась автоматически, затем вручную корректировалась ординаторами; в отобранных 900 сериях DICOM ей подвергался каждый пятый аксиальный срез [7]. Несмотря на недавнее появление набора SAROS, данные из него уже используются исследователями [8]. В настоящей работе из набора SAROS было отобрано 597 серий КТ, исходные снимки которых взяты из коллекций с открытым доступом. В выборку вошли 273 исследования пациентов мужского и 324 — женского пола. Далее из каждой серии выбраны аксиальные срезы, ограниченные уровнями позвонков Th1–Th12, L1–L5 и имеющие соответствующие маски сегментации. В результате сформирован набор, содержащий 5851 пару срезов и

соответствующих масок бинарной сегментации мышечной ткани в обучающей выборке (488 исследований), 651 пару — в валидационной (49 исследований) и 716 пар — в тестовой (60 исследований).

Для экспериментов в рамках исследования выбраны архитектуры U-Net, ResU-Net, Attention U-Net, U-Net++, Dense U-Net. В программе для обучения моделей сегментации мышечной ткани по снимкам КТ [9] произведена предварительная обработка снимков обучающей, валидационной и тестовой выборок. Для каждой из пяти выбранных архитектур обучено по две модели на входных данных в исходном и трехканальном видах. Все 10 моделей протестированы на данных тестовой выборки. На рисунке показаны примеры троек, состоящих из исходных снимков КТ тестовой выборки, соответствующих им истинных бинарных масок мышечной ткани из набора данных SAROS и бинарных масок, предсказанных моделью.

Для оценки точности обученных моделей использованы две метрики: DSC и IoU. При расчете их значений (таблица) сопоставлялись истинные маски сегментации и маски, предсказанные обученными моделями. Произведено сравнение значений метрик для моделей одних и тех же архитектур, обученных на исходных (одноканальных) и предобработанных (трехканальных) снимках. Для архитектур ResU-Net, Attention U-Net и U-Net++ применение трехканальных входных данных повысило значения DSC и IoU, для Dense U-Net — только IoU. Увеличения значений метрик DSC и IoU для моделей с архитектурами U-Net, ResU-Net, Attention U-Net для всей тестовой выборки лежат в диапазоне 0,0011–0,0015 и 0,0012–0,0014. Отметим, что при визуальной оценке результатов сегментации отдельных срезов моделями, работающими с одно- и трехканальными снимками, выявлено уменьшение количества артефактов и повышение точности для трехканальных модификаций. Замечено, что эти срезы соответствуют преимущественно уровням позвонков Th1–Th2, L5. Количество срезов, для которых наблюдается увеличение DSC и IoU более 0,01, составляет 11–14 % от всей тестовой выборки для моделей с архитектурами ResU-Net, Attention U-Net и U-Net++. Для остальных срезов точность сегментации с предобработкой остается близкой к точности сегментации без предобработки. Это говорит о целесообразности применения предлагаемого метода предобработки при работе с моделями этих архитектур преимущественно для срезов на уровнях Th1–Th2, L5. Подчеркнем, что для модели с архитектурой U-Net применение трехканальных входных данных при обучении не на малом, а на масштабном наборе данных не дало увеличения значений DSC и IoU по всей тестовой выборке, при этом для отдельных подвыборок тестовых срезов (для уровней Th1–Th2, L5) точность сегментации повысилась, для других — понизилась. Максимальные значе-

<sup>1</sup> Koitka S., Baldini G., Kroll L., van Landeghem N., Haubold J., Sung Kim M., Kleesiek J., Nensa F., Hosch R. SAROS A large, heterogeneous, and sparsely annotated segmentation dataset on CT imaging data (SAROS) (Version 2) [Data set]. The Cancer Imaging Archive. 2023. <https://doi.org/10.25737/SZ96-ZG60>

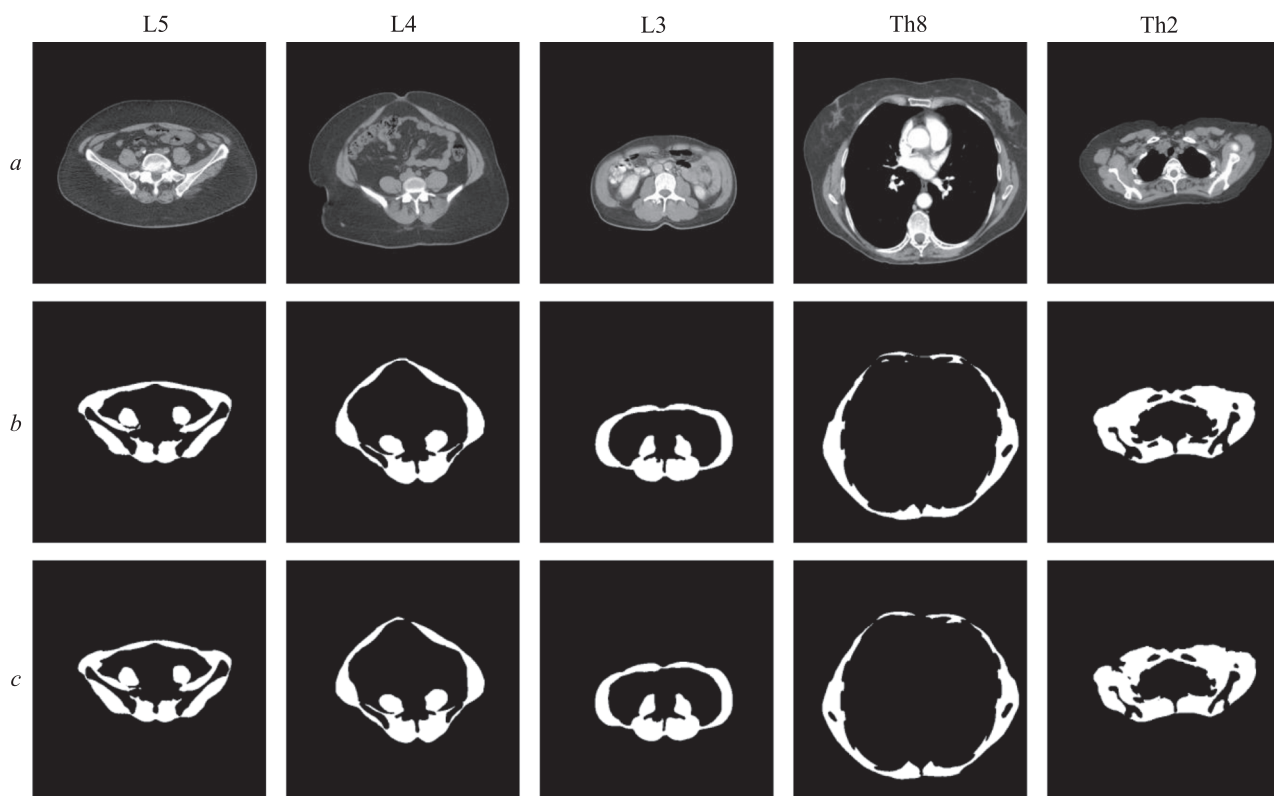


Рисунок. Примеры снимков компьютерной томографии на уровнях разных позвонков и соответствующие маски сегментации: исходные снимки (a); истинные (b) и предсказанные (c) маски

Figure. Examples of computed tomography scans at different vertebral levels and corresponding segmentation masks: scans (a); true masks (b); predicted masks (c)

ния метрик DSC и IoU продемонстрировала модель с архитектурой Dense U-Net, имеющая значительно больше обучаемых параметров по сравнению с остальными рассмотренными и требующая больше вычислительных ресурсов. В ходе визуальной оценки результатов сегментации отдельных срезов установлено, что за счет большого количества обучаемых параметров модель Dense U-Net, работающая с одноканальными снимками, так же четко сегментирует мышечную ткань, как и работающая с трехканальными. Можно сделать вывод о равнозначности двух рассмотренных модификаций Dense U-Net (DSC различаются незначительно, IoU выше у трехканальной).

Полученные результаты позволяют применять предлагаемый метод для анализа снимков КТ всего диапазона уровней, соответствующих грудному и поясничному отделам позвоночника. В дальнейшем планируется разработать модуль автоматического нахождения снимков на уровнях, соответствующих позвонкам, которые могут быть сегментированы новыми моделями, а также модуль анализа получаемых результатов сегментации. Также предполагается выполнение оценки влияния предложенного метода формирования трехканальных входных данных, повысившего точность бинарной сегментации мышечной ткани для нескольких архитектур, на точность бинарной и мультиклассовой сегментации других тканей или органов.

Таблица. Значения метрик DSC и IoU

Table. DSC and IoU values

Тип входных снимков	Архитектуры моделей сегментации				
	U-Net	ResU-Net	Attention U-Net	U-Net++	Dense U-Net
DSC					
одноканальные	0,9386	0,9380	0,9378	0,9339	<b>0,9421</b>
трехканальные	0,9386	<b>0,9395</b>	<b>0,9389</b>	<b>0,9353</b>	0,9419
IoU					
одноканальные	<b>0,8822</b>	0,8802	0,8815	0,8737	0,8874
трехканальные	0,8819	<b>0,8816</b>	<b>0,8828</b>	<b>0,8749</b>	<b>0,8885</b>

## Литература

## References

1. Теплякова А.Р., Шершнева Р.В., Старков С.О., Агабабян Т.А., Кукарская В.А. Сегментация мышечной ткани на снимках компьютерной томографии на уровне позвонка L3 // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24. № 1. С. 124–132. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2024-24-1-124-132>
2. Van den Broeck J., Sealy M.J., Brussaard C., Koosman J., Jager-Wittenaar H., Scafoglieri A. The correlation of muscle quantity and quality between all vertebra levels and level L3, measured with CT: An exploratory study // *Frontiers in Nutrition*. 2023. V. 10. P. 1148809. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1148809>
3. Arayne A.A., Gartrell R., Qiao J., Baird P.N., Yeung J.M. Comparison of CT derived body composition at the thoracic T4 and T12 with lumbar L3 vertebral levels and their utility in patients with rectal cancer // *BMC Cancer*. 2023. V. 23. N 1. P. 56. <https://doi.org/10.1186/s12885-023-10522-0>
4. Molwitz I., Ozga A.K., Gerdes L., Ungerer A., Köhler D., Ristow I., Leiderer M., Adam G., Yamamura J. Prediction of abdominal CT body composition parameters by thoracic measurements as a new approach to detect sarcopenia in a COVID-19 cohort // *Scientific Reports*. 2022. V. 12. N 1. P. 6443. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10266-0>
5. Vangelov B., Bauer J., Kotevski D., Smees R.I. The use of alternate vertebral levels to L3 in computed tomography scans for skeletal muscle mass evaluation and sarcopenia assessment in patients with cancer: a systematic review // *British Journal of Nutrition*. 2022. V. 127. N 5. P. 722–735. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001446>
6. Clark K., Vendt B., Smith K., Freymann J., Kirby J., Koppel P., Moore S., Phillips S., Maffitt D., Pringle M., Tarbox L., Prior F. The Cancer Imaging Archive (TCIA): maintaining and operating a public information repository // *Journal of Digital Imaging*. 2013. V. 26. N 6. P. 1045–1057. <https://doi.org/10.1007/s10278-013-9622-7>
7. Koitka S., Baldini G., Kroll L., van Landeghem N., Pollok O.B., Haubold J., Pelka O., Kim M., Kleesiek J., Nensa F., Hosch R. SAROS: A dataset for whole-body region and organ segmentation in CT imaging // *Scientific Data*. 2024. V. 11. N 1. P. 483. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03337-6>
8. Hou B., Mathai T.S., Liu J., Parnell C., Summers R.M. Enhanced muscle and fat segmentation for CT-based body composition analysis: a comparative study // *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*. 2024. in press. <https://doi.org/10.1007/s11548-024-03167-2>
9. Теплякова А.Р., Шершнева Р.В. Программа для обучения моделей сегментации мышечной ткани по снимкам компьютерной томографии: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU2024612322. 31.01.2024. Бюл. № 2.
1. Teplyakova A.R., Shershnev R.V., Starkov S.O., Agababian T.A., Kukarskaya V.A. Segmentation of muscle tissue in computed tomography images at the level of the L3 vertebra. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2024, vol. 24, no. 1, pp. 124–132. (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2024-24-1-124-132>
2. Van den Broeck J., Sealy M.J., Brussaard C., Koosman J., Jager-Wittenaar H., Scafoglieri A. The correlation of muscle quantity and quality between all vertebra levels and level L3, measured with CT: An exploratory study. *Frontiers in Nutrition*, 2023, vol. 10, pp. 1148809. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1148809>
3. Arayne A.A., Gartrell R., Qiao J., Baird P.N., Yeung J.M. Comparison of CT derived body composition at the thoracic T4 and T12 with lumbar L3 vertebral levels and their utility in patients with rectal cancer. *BMC Cancer*, 2023, vol. 23, no. 1, pp. 56. <https://doi.org/10.1186/s12885-023-10522-0>
4. Molwitz I., Ozga A.K., Gerdes L., Ungerer A., Köhler D., Ristow I., Leiderer M., Adam G., Yamamura J. Prediction of abdominal CT body composition parameters by thoracic measurements as a new approach to detect sarcopenia in a COVID-19 cohort. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 6443. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10266-0>
5. Vangelov B., Bauer J., Kotevski D., Smees R.I. The use of alternate vertebral levels to L3 in computed tomography scans for skeletal muscle mass evaluation and sarcopenia assessment in patients with cancer: a systematic review. *British Journal of Nutrition*, 2022, vol. 127, no. 5, pp. 722–735. <https://doi.org/10.1017/S0007114521001446>
6. Clark K., Vendt B., Smith K., Freymann J., Kirby J., Koppel P., Moore S., Phillips S., Maffitt D., Pringle M., Tarbox L., Prior F. The Cancer Imaging Archive (TCIA): maintaining and operating a public information repository. *Journal of Digital Imaging*, 2013, vol. 26, no. 6, pp. 1045–1057. <https://doi.org/10.1007/s10278-013-9622-7>
7. Koitka S., Baldini G., Kroll L., van Landeghem N., Pollok O.B., Haubold J., Pelka O., Kim M., Kleesiek J., Nensa F., Hosch R. SAROS: A dataset for whole-body region and organ segmentation in CT imaging. *Scientific Data*, 2024, vol. 11, no. 1, pp. 483. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03337-6>
8. Hou B., Mathai T.S., Liu J., Parnell C., Summers R.M. Enhanced muscle and fat segmentation for CT-based body composition analysis: a comparative study. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 2024, in press. <https://doi.org/10.1007/s11548-024-03167-2>
9. Teplyakova A.R., Shershnev R.V. Program for training muscle tissue segmentation models from computed tomography images. *Certificate of state registration of a computer program RU2024612322*, 31.01.2024. (in Russian)

## Авторы

## Authors

**Теплякова Анастасия Романовна** — преподаватель, аспирант, Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ИАТЭ НИЯУ МИФИ), Обнинск, 249039, Российская Федерация, [sc 57220985322](https://orcid.org/0000-0001-8612-3850), <https://orcid.org/0000-0001-8612-3850>, [anastasija-t23@mail.ru](mailto:anastasija-t23@mail.ru)

**Шершнева Роман Владимирович** — старший преподаватель, Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ИАТЭ НИЯУ МИФИ), Обнинск, 249039, Российская Федерация, [sc 58703693700](https://orcid.org/0009-0000-2324-5893), <https://orcid.org/0009-0000-2324-5893>, [rvshershnev@yandex.ru](mailto:rvshershnev@yandex.ru)

**Старков Сергей Олегович** — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор, Обнинский институт атомной энергетики — филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (ИАТЭ НИЯУ МИФИ), Обнинск, 249039, Российская Федерация, [sc 6701907645](https://orcid.org/0000-0002-0420-7856), <https://orcid.org/0000-0002-0420-7856>, [sergeystarkov56@mail.ru](mailto:sergeystarkov56@mail.ru)

**Anastasia R. Teplyakova** — PhD Student, Lecturer, Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, 249039, Russian Federation, [sc 57220985322](https://orcid.org/0000-0001-8612-3850), <https://orcid.org/0000-0001-8612-3850>, [anastasija-t23@mail.ru](mailto:anastasija-t23@mail.ru)

**Roman V. Shershnev** — Senior Lecturer, Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, 249039, Russian Federation, [sc 58703693700](https://orcid.org/0009-0000-2324-5893), <https://orcid.org/0009-0000-2324-5893>, [rvshershnev@yandex.ru](mailto:rvshershnev@yandex.ru)

**Sergey O. Starkov** — D.Sc. (Physics & Mathematics), Senior Researcher, Professor, Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, 249039, Russian Federation, [sc 6701907645](https://orcid.org/0000-0002-0420-7856), <https://orcid.org/0000-0002-0420-7856>, [sergeystarkov56@mail.ru](mailto:sergeystarkov56@mail.ru)