

УДК 576.315+004.932.2
<https://doi.org/10.56871/ViM.2025.70.38.004>

Выявление клеточных ядер методами компьютерного зрения

Александра Александровна Тихомирова, Ксения Станиславовна Ефремова,
Михаил Александрович Дохов, Вадим Евгеньевич Стернин,
Никита Александрович Дементьев

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург,
ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

Контактная информация: Вадим Евгеньевич Стернин — преподаватель кафедры медицинской информатики.
E-mail: g249@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5039-0833>; SPIN: 2190-5634

Для цитирования: Тихомирова А.А., Ефремова К.С., Дохов М.А., Стернин В.Е., Дементьев Н.А. Выявление клеточных ядер методами компьютерного зрения. *Визуализация в медицине*. 2025;7(3):35–40. <https://doi.org/10.56871/ViM.2025.70.38.004>.

Поступила: 03.09.2025

Одобрена: 10.10.2025

Принята к печати: 18.11.2025

Резюме. Введение. В современной научной и диагностической патологии существует потребность в новых подходах, обеспечивающих объективный и количественный анализ клеточных и тканевых образцов. Обилие морфометрических параметров и высокая вариабельность их значений среди разных типов клеток создают значительные трудности при разработке универсальных алгоритмов автоматического распознавания и анализа клеточных структур. **Цель исследования** — определение морфометрических параметров, позволяющих выявить клеточное ядро методами компьютерного зрения. **Материалы и методы.** Анализ более 100 современных научных публикаций за последние 20 лет, индексируемых в РИНЦ и Scopus. Медицинские изображения были взяты из виртуальной базы гистологических микрофотографий HistologyGuide. Расчет морфологических параметров ядер разных типов клеток на микропрепарате почки осуществлялся с помощью программы для анализа и обработки изображений ImageJ. **Результаты.** Для выявления наиболее значимых параметров был проведен факторный анализ в программе STATISTICA 10.0. По результатам проведенного факторного анализа были выделены два основных фактора: условно называемый фактор размера и условно называемый фактор формы. Доля общей дисперсии фактора размера 50%, а фактора формы – 43%, следовательно, эти два фактора являются наиболее значимыми. Критерий Краскела–Уоллиса не выявил статистически значимую изменчивость площади ядер клеток в зависимости от типа ткани. **Выводы.** Площадь и удлиненность являются наиболее значимыми факторами, позволяющими выявить клеточное ядро методами компьютерного зрения.

Ключевые слова: морфометрические параметры клеточных ядер, методы компьютерного зрения, компьютерный анализ изображений

<https://doi.org/10.56871/ViM.2025.70.38.004>

Identification of cell nucleus by computer vision methods

Aleksandra A. Tikhomirova, Ksenija S. Efremova, Mikhail A. Dokhov,
Vadim E. Sternin, Nikita A. Dementyev

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Lithuania, Saint Petersburg 194100, Russian Federation

Contact information: Vadim E. Sternin — Teacher at the Department of Medical Informatics.

E-mail: g249@inbox.ru; <https://orcid.org/0009-0004-5039-0833>; SPIN: 2190-5634

For citation: Tikhomirova A.A., Efremova K.S., Dokhov M.A., Sternin V.E., Dementyev N.A. Identification of cell nucleus by computer vision methods. *Visualization in Medicine*. 2025;7(3):35–40. <https://doi.org/10.56871/ViM.2025.70.38.004>.

Received: 03.09.2025

Revised: 10.10.2025

Accepted: 18.11.2025

Abstract. Introduction. In modern scientific and diagnostic pathology, there is a need for new approaches that provide objective and quantitative analysis of cell and tissue samples. The abundance of morphometric parameters and the high variability of their values among different cell types create significant difficulties in developing universal algorithms for automatic recognition and analysis of cell structures. **The purpose of the study** is to determine the morphometric parameters that make it possible to identify the cell nucleus using computer vision methods. **Materials and methods.** Analysis of more than 100 up-to-date scientific publications over the past 15 years indexed in RSCI and Scopus. Medical images were taken from the HistologyGuide virtual database of histological micrographs. Morphological parameters of nuclei of different cell types were calculated on a kidney micropreparation using the ImageJ program for image analysis and processing. **Results.** To identify the most significant parameters, a factor analysis was performed in the STATISTICA 10.0 program. Based on the results of the factor analysis, two main factors were identified: the conventionally called size factor and the conventionally called shape factor, the share of the total variance of the size factor is 50%, and the shape factor is 43%, therefore, these two factors are the most significant. The Kraskel–Wallis test did not reveal a statistically significant variability in the area of cell nuclei depending on the type of tissue. **Conclusions.** Area and elongation are the most significant factors that make it possible to identify the cell nucleus using computer vision methods.

Keywords: morphometric parameters of cell nuclei, computer vision methods, computer-aided image analysis

ВВЕДЕНИЕ

Гистологический анализ биоматериалов по-прежнему остается важнейшим этапом в диагностике многих заболеваний [1].

Визуальный анализ характеризуется значительной долей субъективности. Если данный анализ проводится повторно одним и тем же либо другим наблюдателем, результаты часто отличаются от первоначальных, что делает этот метод не полностью воспроизводимым [2].

Автоматизация обработки изображений с применением приемов компьютерного зрения снимает ограничения по воспроизводимости, скорости выполнения анализа и его стоимости. Также автоматизация обработки изображений выводит цифровую цитометрию микроскопических изображений на качественно иной уровень [3, 4].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надежности автоматического микроскопического анализа биомедицинских образцов [5], что является сложной задачей из-за высокой изменчивости и морфологической сложности исследуемых объектов [6, 7].

Обилие морфометрических параметров и высокая вариабельность их значений среди разных типов клеток [8] создают значительные трудности при разработке универсальных алгоритмов автоматического распознавания и анализа клеточных структур. Данное исследование направлено на определение именно тех морфометрических параметров, которые являются значимыми для выявления клеточных ядер.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования — провести определение морфометрических параметров, позволяющих выявить клеточное ядро методами компьютерного зрения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ более 100 современных научных публикаций за последние 20 лет, индексируемых в РИНЦ и Scopus.

Материалом в настоящем исследовании послужили цифровые изображения гистологического микропрепарата почки. Выбор этих тканей обусловлен их стабильностью (частичная замена клеток может происходить примерно раз в несколько месяцев или лет). Медицинские изображения были взяты из виртуальной базы гистологических микрофотографий HistologyGuide [9], поскольку

она соответствовала таким критериям, как наличие масштабной шкалы, корректная цветопередача окраски гематоксилином–эозином, а главное, изображения в данной базе соответствуют типичной картине нормальной ткани. Для исследования были выделены 60 полей зрения (по 20 на каждый тип ткани: паренхима, эпителий сосудов, соединительная ткань).

С помощью программы для анализа и обработки изображений ImageJ [10] были проведены расчеты морфологических характеристик клеточных ядер микропрепарата почки: короткий диаметр, длинный диаметр, удлиненность, площадь, периметр, округлость и коэффициент неровности контура [11, 12]. В каждом случае измеряли не менее 100 клеток.

Анализ полученных результатов выполнялся в программном пакете для статистического анализа STATISTICA 10.0. В работе использовались методы описательной статистики, такие как вычисление средних значений, среднеквадратичных отклонений. Результаты ручного измерения морфометрических параметров в разных типах тканей проверялись на соответствие нормальному закону распределения с помощью критерия Шапиро–Уилка.

При соответствии данных нормальному закону распределения характеристику морфометрическим показателям давали через среднее арифметическое и стандартное отклонение. Факторный анализ позволил установить наиболее важные морфологические параметры для выявления ядер клеток.

В качестве типичных значений использовалась медиана и межквартильные интервалы. Факторный анализ использовался для оценки наиболее важных морфометрических параметров клеточных ядер. Статистически значимые различия определялись с помощью критериев Краскела–Уоллиса и Манна–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ

К важнейшим морфометрическим показателям ядер клеток относятся: абсолютная площадь, периметр, большой и малый диаметры — они отражают непосредственные прямые геометрические характеристики ядер.

Величина абсолютной площади была наибольшей в паренхиме почки (48,6 мкм²), на втором месте — эпителий кровеносных сосудов (47,4 мкм²), на третьем — соединительная ткань (47,3 мкм²) (рис. 1).

Величина короткого диаметра была наибольшей в эпителии кровеносных сосудов (7,4 мкм), на втором месте — паренхима почки (6,8 мкм), на

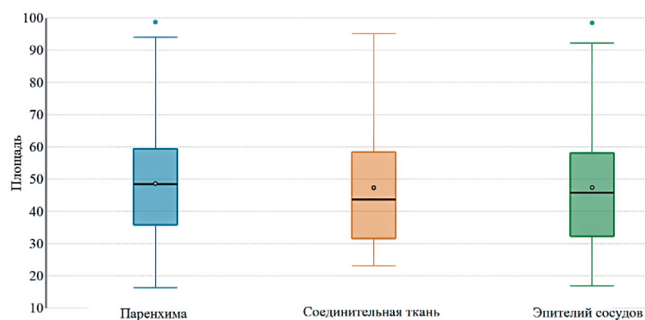


Рис. 1. Значение площади ядер разных типов клеток
Fig. 1. The value of the area of nuclei of different cell types

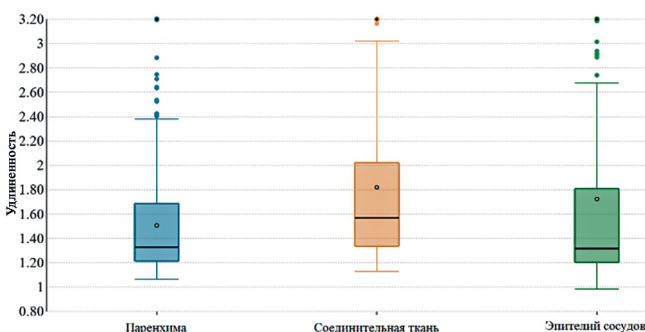


Рис. 2. Значение удлиненности ядер разных типов клеток
Fig. 2. The significance of the elongation of nuclei of different cell types

Таблица 1

Матрица факторных нагрузок

Table 1

Factor loading matrix

Переменная / Variable	Фактор 1 / Factor 1	Фактор 2 / Factor 2
Площадь / Area	−0,981919	0,146236
Периметр / Perimeter	−0,744398	0,629047
Большой диаметр / Large diameter	−0,540854	0,817350
Малый диаметр / Small diameter	−0,892220	−0,371296
Удлиненность / Elongation	0,229495	0,915313
Индекс формы / Form index	−0,229067	−0,893251
Коэффициент неровности контура / Contour roughness coefficient	−0,902426	−0,341268
Доля общей дисперсии / Share of total variance	0,503769	0,425024

третьем — соединительная ткань (6,4 мкм). Величина длинного диаметра была наибольшей в соединительной ткани (11,2 мкм), на втором и третьем местах — паренхима почки и сосудистый эпителий (9,9 мкм).

К относительным морфометрическим показателям относятся коэффициент неровности контура, округлость и удлиненность ядер клеток.

Величина коэффициента неровности контура ядер клеток была наибольшей в эпителии кровеносных сосудов и паренхиме почки (1,8), на втором месте — соединительная ткань (1,6).

Округлость — это характеристика, которая отражает близость формы ядра к кругу и позволяет оценить степень деформации ядер. Показатель округлости клеточных ядер был наиболее высоким в эпителии кровеносных сосудов и паренхиме почки, где он составил 0,8. На втором месте по этому показателю находится соединительная ткань с индексом формы 0,7.

Удлиненность — это характеристика, которая указывает на соотношение длины и ширины ядра клетки и дает представление об изменении формы ядра в зависимости от функции и физиологического состояния. Наиболее вытянутыми оказались ядра клеток в соединительной ткани — 1,8. На втором месте по этому показателю находится паренхима почки — 1,5. Третье место занимает сосудистый эпителий — 1,4 (рис. 2).

После расчета средних значений морфометрических параметров ядер клеток в разных типах ткани можно сделать вывод о том, что значения этих параметров сильно разнятся в зависимости от типа ткани.

Для выявления наиболее значимых параметров был проведен факторный анализ в программе STATISTICA 10.0, результаты которого приведены в таблице 1.

По результатам проведенного факторного анализа были выделены два основных фактора: условно называемый фактор размера (основным является параметр площади, поскольку имеет наибольшую факторную нагрузку 98%) и условно называемый фактор формы (ведущим является параметр удлиненности ядра клетки, поскольку имеет наибольшую факторную нагрузку 91%). Доля общей дисперсии фактора размера 50%, а фактора формы — 43%, следовательно, эти два фактора являются наиболее значимыми.

Критерий Краскела–Уоллиса не выявил статистически значимую изменчивость площади ядер клеток в зависимости от типа ткани.

Значение критерия Краскела–Уоллиса $H=16,2$ и уровень значимости $p=0,0002$ указывают на вариабельность удлиненности ядер клеток в разных типах ткани. Критерий Манна–Уитни позволил установить статистически значимые различия средних значений удлиненности ядер клеток соединительной ткани и паренхимы, соединительной ткани и эпителия сосудов (при $p < 0,017$ уровень значи-

мости с поправкой на множественное сравнение). Можно сделать вывод о том, что значения удлиненности разнятся в зависимости от типа ткани.

ВЫВОДЫ

Анализ изображений микропрепаратов почки показал высокую изменчивость каждого параметра в разных типах ткани (паренхима, эпителий сосудов, соединительная ткань), что может снижать точность выделения ядер автоматизированным методом.

На основании проведенного факторного анализа были выявлены два основных фактора, позволяющих выявить клеточное ядро методами компьютерного зрения: это фактор размера и фактор формы. У фактора размера ведущим является параметр площади, а у фактора формы — удлиненность.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов А.В. Виртуальная микроскопия в преподавании гистологии — новая реальность эпохи цифровых технологий. *Морфология*. 2019;156(5):75–84. EDN: NKPFAM.
2. Никитин А.Н. Идентификация и локализация клеток на микроскопических изображениях с использованием SIFT-алгоритма. Методы микроскопического анализа. Сборник статей. Выпуск 1. М.: Издание ЗАО «МЕДИЦИНСКИЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ (МЕКОС)»; 2009: 114–125.

3. Савкин А.Е., Шагалова П.А., Корелин О.Н. Исследование применения технологий компьютерного зрения для анализа биомедицинских изображений. *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*. 2024;(1(144)):16–23. EDN: LZPVRM.
4. Горячкин Б.С., Китов М.А. Компьютерное зрение. *E-Scio*. 2020;(9(48)):317–345. EDN: EBYPIO.
5. Симонова К.С., Самородов А.В., Спиридонов И.Н. Система вычислительной диагностики для анализа цитологических препаратов клеток почечного эпителия в онкоцитологии. *Наука и образование: научное издание НГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2011;(13):4. EDN: PIGCIP.
6. Salvi M., Molinari F. Multi-tissue and multi-scale approach for nuclei segmentation in H&E stained images. *BioMedical Engineering OnLine*. 2018;89(17). <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0518-0>.
7. Поляков Е.В., Попов В.В., Дмитриева В.В. Система анализа изображений ядросодержащих клеток костного мозга для формирования диагностического заключения в онкогематологии. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(1):1–8. <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.48.1.016>.
8. Арешидзе Д.А. Механизмы поддержания и изменений формы и размеров клеточного ядра (обзор). *Морфологические ведомости*. 2022;30(3):73–80. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2022.30\(3\).670](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2022.30(3).670).
9. Электронный каталог «Histology Guide». Доступно по: <https://histologyguide.com/> (дата обращения: 17.09.2025).
10. Мыщик А.В. Использование программы ImageJ для автоматической морфометрии в гистологических исследованиях. *Омский научный вестник*. 2011;(2(100)):187–189.
11. Стернин В.Е., Дохов М.А., Тихомирова А.А., Дементьев Н.А. Современные подходы к классификации объектов на медицинских компьютерных изображениях. *Визуализация в медицине*. 2024;6(2):23–29. <https://doi.org/10.56871/ViM.2024.24.31.004>. EDN: KIJZWO.
12. Краснова Л.С. Морфометрические особенности бластных клеток в стандартных цитоцентрифугатах костного мозга при острых миелоидных лейкозах. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М.; 2009.

REFERENCES

1. Pavlov A.V. Virtual microscopy in teaching histology—a new reality of the digital age. *Morphology*. 2019;156(5):75–84. (In Russian). EDN: NKPFAM.
2. Nikitin A.N. Identification and localization of cells in microscopic images using the SIFT algorithm. *Methods of microscopic analysis. Collection of articles. Issue 1*. Moscow: Publishing House of Medical Computer Systems (MEKOS); 2009: 114–125. (In Russian).
3. Savkin A.E., Shagalova P.A., Korelin O.N. Research of application of computer vision technologies for biomedical image analysis. *Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev*. 2024;(1):16–23. (In Russian). EDN: LZPVRM.

4. Gorjachkin B.S., Kitov M.A. Computer vision. *E-Scio*. 2020;(9(48)):317–345 (In Russian). EDN: EBYPIO.
5. Simonova K.S., Samorodov A.V., Spiridonov I.N. Computational diagnostic system based on cytological image analysis of renal epithelium cells preparations in oncocytology. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana*. 2011;(13):4. EDN: PIGCIP. (In Russian).
6. Salvi M., Molinari F. Multi-tissue and multi-scale approach for nuclei segmentation in H&E stained images. *BioMedical Engineering OnLine*. 2018;89(17). <https://doi.org/10.1186/s12938-018-0518-0>.
7. Polyakov E.V., Popov V.V., Dmitrieva V.V. A system for analyzing images of nucleated bone marrow cells for the formation of a diagnostic conclusion in oncohematology. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(1):1–8. (In Russian). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.48.1.016>.
8. Areshidze D.A. Mechanisms of the keeping and change of forms and sizes of the cell nuclei (review). *Morphological newsletter*. 2022;30(3):73–80. (In Russian). [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2022.30\(3\).670](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2022.30(3).670).
9. Electronic catalog “Histology Guide”. Available at: <https://histologyguide.com/> (accessed: 17.09.2025).
10. Mytsik A.V. Using ImageJ software application for automated morphometry of histological studies. *Omskiy nauchnyy vestnik*. 2011;(2(100)):187–189. (In Russian).
11. Sternin V.E., Dokhov M.A., Tikhomirova A.A., Dementyev N.A. Modern approaches to the classification of objects in medical computer images. *Visualization in Medicine*. 2024;6(2):23–29. (In Russian). <https://doi.org/10.56871/ViM.2024.24.31.004>. EDN: KIJZWO.
12. Krasnova L.S. Morphometric features of blast cells in standard bone marrow cytocentrifugates in acute myeloid leukemia. MD thesis. Moscow; 2009. (In Russian).