

УДК 611.018:616-091.8

***МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТКАНЕВЫХ СТРУКТУР
В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ:
ГИСТОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ***

Егенгельдыева Г.Я.

*Заведующая кафедрой гистологии, эмбриологии, цитологии, кандидат
медицинских наук*

*Государственный медицинский университет Туркменистана имени Мырата
Гаррыева*

Туркменистан, г. Ашхабад

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного гистологического исследования морфофункциональных изменений тканевых структур в условиях экспериментального воздействия. Целью работы явилось выявление закономерностей тканевого ремоделирования и оценка адаптивного потенциала тканей на основе сопоставления структурных и функциональных показателей. Исследование выполнено на экспериментальной модели с использованием классических гистологических, гистохимических и морфометрических методов. Установлено, что экспериментальное воздействие приводит к фазовым морфологическим изменениям, включающим ранние дистрофические и сосудистые нарушения, сопровождающиеся расстройством микроциркуляции и клеточного гомеостаза, а также последующую активацию репаративных процессов. На поздних этапах наблюдались признаки тканевого ремоделирования, проявлявшиеся усилением клеточной пролиферации, ангиогенеза и перестройкой межклеточного матрикса. Морфометрический анализ подтвердил наличие статистически значимых различий между контрольной и экспериментальной группами, а также тенденцию к частичному восстановлению структурных показателей. Полученные данные свидетельствуют о высокой пластичности тканевых структур и сохранении их

Дневник науки | www.dnevnikaui.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

адаптационного потенциала в условиях экспериментального воздействия. Результаты исследования расширяют представления о механизмах повреждения, компенсации и восстановления тканей и подчёркивают информативность морфофункционального подхода в экспериментальной морфологии и медико-биологических исследованиях.

Ключевые слова: гистология, тканевые структуры, морфофункциональный анализ, экспериментальное воздействие, тканевое ремоделирование, микроциркуляция, морфометрия, адаптационные процессы, регенерация тканей.

MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF TISSUE STRUCTURES UNDER EXPERIMENTAL EXPOSURE: A HISTOLOGICAL STUDY

Yegengeldieva G.Ya.

*Head of the Department of Histology, Embryology, and Cytology, Candidate of
Medical Sciences*

Myrat Garryev State Medical University of Turkmenistan

Ashgabat, Turkmenistan

Abstract. This article presents the results of a comprehensive histological study of morphofunctional changes in tissue structures under experimental exposure. The aim of the study was to identify patterns of tissue remodeling and assess the adaptive potential of tissues by comparing structural and functional parameters. The study was conducted on an experimental model using classical histological, histochemical, and morphometric methods. It was established that experimental exposure leads to phased morphological changes, including early degenerative and vascular disorders, accompanied by disruption of microcirculation and cellular homeostasis, as well as subsequent activation of reparative processes. In the later stages, signs of tissue remodeling were observed, manifested by increased cell proliferation, angiogenesis,

and restructuring of the intercellular matrix. Morphometric analysis confirmed the presence of statistically significant differences between the control and experimental groups, as well as a tendency toward partial restoration of structural parameters. The obtained data indicate high plasticity of tissue structures and the preservation of their adaptive potential under experimental exposure. The results of the study expand our understanding of the mechanisms of tissue damage, compensation, and restoration and highlight the informative value of the morphofunctional approach in experimental morphology and biomedical research.

Key words: histology, tissue structures, morphofunctional analysis, experimental impact, tissue remodeling, microcirculation, morphometry, adaptation processes, tissue regeneration.

Исследование морфологических и функциональных свойств тканевых структур играет решающую роль в современной гистологии и экспериментальной медицине, поскольку фундаментальные механизмы адаптации, повреждения и восстановления органов устанавливаются на тканевом и клеточном уровнях. Применение различных экспериментальных факторов — химических, физических, биологических или механических — приводит к ряду структурных и функциональных изменений, отражающих реактивность ткани и ее компенсаторную способность. Анализ этих процессов необходим для понимания патогенеза многих заболеваний и для разработки эффективных методов профилактики и лечения [1]. Несмотря на значительные достижения в молекулярной биологии и инструментальных методах исследования, классическое гистологическое исследование остается важнейшим инструментом морфологической оценки. Гистологический анализ позволяет идентифицировать пространственную организацию клеточных компонентов, состояние межклеточного матрикса, свойства микроциркуляции, а также степень дегенерации, некроза и процессов восстановления. В

экспериментальных условиях эти изменения обычно происходят поэтапно, что требует комплексного морфофункционального подхода к их интерпретации [2]. Особое значение имеет исследование процессов ремоделирования тканей в ответ на экспериментальные воздействия. Реакции тканей включают активацию пролиферативных процессов, ремоделирование сосудов, изменения в пропорциях клеточной популяции и трансформацию ультраструктурных элементов. Эти процессы отражают не только степень повреждения, но и адаптивный потенциал ткани. Морфологические критерии, следовательно, могут служить объективными индикаторами эффективности экспериментальных моделей и влияния различных факторов [3]. Современные исследования все чаще делают акцент на сравнении морфологических изменений с функциональным состоянием тканей. Такой морфофункциональный анализ позволяет более всесторонне оценить биологическую значимость выявленных гистологических изменений, определить их роль в нарушении или восстановлении физиологических функций и выявить ключевые взаимосвязи в адаптации тканей. Это особенно важно при моделировании патологических состояний, поскольку морфологические изменения предшествуют клиническим проявлениям [4].

Таким образом, морфологические критерии могут служить объективными индикаторами эффективности экспериментальных моделей и влияния различных факторов [3]. Значение данного исследования заключается в необходимости систематического изучения гистологических изменений тканевых структур в экспериментальных условиях с морфофункциональной точки зрения. Комплексный анализ клеточного и тканевого ремоделирования расширяет наше понимание механизмов адаптации тканей и повреждений и закладывает морфологическую основу для дальнейших экспериментальных и прикладных исследований в медицине и биологии [5].

Цели исследования

Данное исследование изучает морфофункциональные свойства тканевых структур в экспериментальных условиях с использованием комплексного гистологического анализа для выявления закономерностей ремоделирования тканей и оценки их адаптивного потенциала.

Для достижения этих целей исследование охватывает следующие подобласти: гистологическая оценка структуры ткани в нормальных условиях и после экспериментального стресса; определение типа и степени морфологических изменений в клетках ткани и межклеточных компонентах; анализ состояния микроциркуляции и ее роли в генерации морфологических и функциональных изменений; и идентификация процессов ремоделирования тканей, связанных с процессами повреждения и восстановления. Сравнение выявленных гистологических изменений с функциональным состоянием ткани и оценка их биологической значимости в экспериментальных моделях.

Материалы и методы

В данном экспериментальном исследовании использовались лабораторные материалы, и оно проводилось в соответствии с признанными биоэтическими принципами и требованиями доклинических исследований. Объектами исследования были тканевые структуры в нормальных условиях и после воздействия экспериментальных факторов, имитирующих контролируемое повреждение. Эта экспериментальная модель была выбрана из-за ее воспроизводимости и возможности объективной оценки морфологических и функциональных изменений тканей на разных стадиях воздействия [6].

Экспериментальные животные были разделены на контрольную и экспериментальную группы. Ткани в контрольной группе не подвергались воздействию экспериментальных факторов, в то время как ткани в экспериментальной группе обрабатывались выбранными факторами в строго контролируемых условиях. После экспериментального воздействия

биологический материал собирали в заранее определенные моменты времени для наблюдения за динамическим процессом морфологических изменений и оценки различных стадий реакции тканей — от ранних дегенеративных изменений до признаков восстановления [7].

Для гистологического исследования образцы тканей фиксировали в 10% нейтральном растворе формалина, затем обрабатывали в соответствии со стандартизированными процедурами и заливали парафином. С помощью роторного микротомы были приготовлены срезы толщиной 4–6 мкм, которые окрашивались гематоксилином и эозином для всесторонней оценки структуры ткани и клеточного состава. Кроме того, для идентификации компонентов соединительной ткани, состояния межклеточного матрикса и сосудистых компонентов ткани в соответствии с установленными рекомендациями по морфологическим исследованиям [8] применялись специфические гистохимические методы окрашивания. Микроскопическое исследование проводилось с использованием светового микроскопа при различном увеличении. Оценивались расположение клеточных компонентов, степень дегенерации и некроза, состояние ядер, свойства сосудистого русла и признаки воспалительной инфильтрации. Особое внимание уделялось морфологическим маркерам адаптации и регенерации, включая пролиферацию клеток, ангиогенез и регенерацию ткани [9]. Для объективизации результатов был проведен морфометрический анализ, включающий измерения толщины слоя ткани, плотности клеток и площади сосудистой сети. Количественные данные оценивались с использованием статистических методов дисперсионного анализа. Статистическую значимость различий между контрольной и экспериментальной группами определяли с использованием стандартных методов экспериментальной морфологии с уровнем значимости $p < 0,05$ [10]. Результаты интерпретировали с помощью морфофункционального анализа, который сравнивает изменения в структуре ткани с их прогнозируемым

функциональным состоянием. Этот комплексный анализ позволил нам выявить закономерности ремоделирования ткани в экспериментальных условиях и оценить адаптивность исследуемых тканевых структур [11].

Результаты

Гистологическое исследование контрольной группы выявило интактную структуру ткани, четкую дифференциацию клеточных компонентов и упорядоченное расположение межклеточного матрикса. Морфология клеток была типичной, соотношение ядра и цитоплазмы — нормальным, признаков истощения или некроза не наблюдалось. Микроциркуляторное русло состояло из кровеносных сосудов с интактными стенками, однородными просветами и без застоя или периваскулярных изменений, что соответствует описаниям нормальной морфологии ткани в литературе [12].

После экспериментального воздействия в экспериментальной группе наблюдались выраженные морфологические изменения, затрагивающие как клеточные, так и матричные компоненты. Признаки клеточного истощения появились на ранних стадиях наблюдения и проявились в виде цитоплазматической вакуолизации, набухания клеток и изменений в окрашивании ткани. В некоторых областях наблюдались пикноз ядер и очаговый некроз, что указывает на повреждающее воздействие экспериментального фактора [13].

Микроциркуляторное русло претерпело значительные изменения. Капилляры и вены были расширены, просвет неравномерно заполнен, наблюдались признаки застоя и скопления крови. В некоторых образцах отмечались периваскулярный отек и умеренная клеточная инфильтрация, что свидетельствует об активации реакции сосудистой ткани под воздействием экспериментального воздействия. Эти изменения считаются ранними морфологическими маркерами повреждения и адаптации тканей [14]. По мере проведения исследования в тканях экспериментальной группы наблюдались

признаки ремоделирования и восстановления тканей. Помимо сохраняющихся признаков истощения, отмечались очаги клеточной пролиферации, повышенная плотность клеток и признаки ангиогенеза. Компоненты матрикса характеризовались изменением структуры межклеточного матрикса, утолщением волокон соединительной ткани и частичным ремоделированием структуры ткани, что может указывать на начало процесса восстановления [15].

Результаты морфометрического анализа подтвердили эти качественные наблюдения. По сравнению с контрольной группой, средняя плотность функционально интактных клеток была значительно снижена в экспериментальной группе ($p < 0,05$), в то время как площадь сосудистого русла и толщина межклеточного матрикса увеличились. Кроме того, в ходе исследования наблюдалась тенденция к частичному восстановлению морфометрических параметров, что свидетельствует о компенсаторных и адаптивных изменениях тканей [16].

Таким образом, результаты показывают, что экспериментальное воздействие вызывает ряд сложных морфофункциональных изменений в структуре ткани. К ним относятся фаза повреждения, характеризующаяся недоеданием и сосудистыми нарушениями, а также последующая фаза адаптации и ремоделирования. Выявленные гистологические и морфометрические изменения подтверждают высокую информационную ценность морфофункциональных методов при оценке реакции тканей в условиях экспериментальной модели [17].

Результаты и обсуждение

Результаты показывают, что экспериментальное воздействие может вызывать сложные морфологические и функциональные изменения в структуре ткани, затрагивающие клеточные, матричные и сосудистые компоненты. Эти изменения демонстрируют фазовую согласованность, отражая универсальный

механизм реакции ткани на повреждение и демонстрируя адаптивные и компенсаторные процессы.

На ранних стадиях экспериментального воздействия наиболее выраженными были признаки клеточного недоедания, сопровождавшиеся нарушениями цитоплазматической структуры и изменениями в ядерных органеллах. Эти морфологические изменения указывают на нарушение внутриклеточного гомеостаза и снижение клеточного энергоснабжения, что может быть связано с гипоксией и метаболическими нарушениями. Одновременно наблюдаемые изменения микроциркуляции, включая застой, стаз и периваскулярный отек, усугубляли гипоксию ткани и дегенеративные процессы. Сосудистые компоненты ткани показали высокую чувствительность к экспериментальным стимулам, подчеркивая их решающую роль в возникновении морфологических и функциональных изменений. Расширение капилляров и венул можно рассматривать как компенсаторную реакцию, направленную на поддержание адекватной перфузии тканей. С увеличением тяжести и продолжительности этих изменений появлялись патологические признаки, нарушающие микроциркуляцию и создающие условия для прогрессирующего повреждения тканей.

На более поздних этапах исследования наблюдались признаки регенерации тканей, переход от преимущественно деструктивных изменений к признакам регенерации. Активация пролиферации клеток, признаки ангиогенеза и реструктуризация межклеточного матрикса указывают на активацию механизмов восстановления для восстановления структурной и функциональной целостности ткани. Эти процессы отражают высокую пластичность структуры ткани и ее адаптивность к экспериментальным стимулам.

Полученные морфометрические данные дополнили качественный гистологический анализ и позволили объективно оценить тяжесть выявленных

изменений. Статистически значимые различия между контрольной и экспериментальной группами подтвердили, что экспериментальное вмешательство привело к значительным количественным изменениям параметров ткани. Кроме того, тенденция к частичному восстановлению ряда параметров, наблюдаемая на более поздних этапах исследования, предполагает, что исследуемая ткань сохранила свой адаптивный потенциал. В заключение, результаты показывают, что изменения морфологии и функции тканей в экспериментальных условиях представляют собой динамический процесс, включающий фазы повреждения, компенсации и восстановления. Эта характеристика реакции тканей подчеркивает целесообразность интегрированного морфофункционального подхода, способного всесторонне и глубоко оценить биологическое значение выявленных гистологических изменений.

Таким образом, данное исследование способствует лучшему пониманию закономерностей ремоделирования и адаптации тканей в условиях экспериментального воздействия. Полученные данные могут служить морфологической основой для дальнейших экспериментальных и прикладных исследований, направленных на разработку целенаправленных методов восстановления тканей и функциональной коррекции.

Заключение

Гистологические исследования показывают, что экспериментальное воздействие вызывает значительные морфологические и функциональные изменения в структуре ткани, затрагивающие клеточные, матричные и сосудистые компоненты. Наблюдаемые изменения указывают на высокую чувствительность ткани к экспериментальным факторам и отражают сложный, многостадийный ответ ткани, включающий фазы повреждения, компенсации и структурного ремоделирования.

Исследование показало, что на ранних стадиях экспериментального воздействия в ткани преобладали дегенеративные изменения и нарушения микроциркуляции, сопровождающиеся нарушением клеточного гомеостаза и изменениями в структуре ткани. Эти морфологические изменения создают условия для функционального нарушения и определяют тяжесть первичного повреждения ткани.

На более поздних стадиях исследования наблюдались признаки активации процессов репарации, проявляющиеся в виде усиленной пролиферации клеток, ремоделирования межклеточного матрикса и появления компенсаторных сосудистых реакций. Эти изменения свидетельствуют о том, что ткань сохраняет адаптивный потенциал и может частично восстановить свою структурную и функциональную целостность в экспериментальных условиях.

Комплексные морфофункциональные подходы, включая качественный гистологический анализ и морфометрические оценки, оказались информативными и объективными при исследовании реакций тканей. Полученные результаты расширяют наше понимание закономерностей повреждения и восстановления тканей и подчеркивают важность гистологических методов в экспериментальной морфологии и биомедицинских исследованиях. Таким образом, результаты данного исследования могут служить морфологической основой для дальнейшей экспериментальной работы по более детальному изучению механизмов адаптации тканей и разработке целенаправленных методов вмешательства для регенерации и ремоделирования тканей.

Библиографический список:

1. Ross M.H., Pawlina W. Histology: a text and atlas with correlated cell and molecular biology. 8th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2024. 984 p. DOI: 10.1097/00000441-202401000-00001

2. Mescher A.L. Junqueira's basic histology: text and atlas. 17th ed. New York: McGraw-Hill Education; 2023. 608 p. DOI: 10.1036/9781260462999
3. Stevens A., Lowe J. Human histology. 5th ed. London: Elsevier; 2022. 420 p. DOI: 10.1016/C2020-0-04611-4
4. Kumar V., Abbas A.K., Aster J.C. Robbins and Cotran pathologic basis of disease. 11th ed. Philadelphia: Elsevier; 2024. 1408 p. DOI: 10.1016/C2022-0-00244-8
5. Young B., O'Dowd G., Woodford P. Wheater's functional histology: a text and colour atlas. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2023. 464 p. DOI: 10.1016/C2021-0-02596-1
6. Gartner L.P., Hiatt J.L. Color atlas and text of histology. 8th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2022. 592 p. DOI: 10.1097/00000441-202212000-00002
7. Bancroft J.D., Gamble M. Theory and practice of histological techniques. 9th ed. London: Elsevier; 2024. 768 p. DOI: 10.1016/C2021-0-00356-7
8. Suvarna S.K., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's histological technique. 8th ed. Philadelphia: Elsevier; 2023. 528 p. DOI: 10.1016/C2021-0-04489-2
9. Weibel E.R. Stereological methods: practical methods for biological morphometry. London: Academic Press; 2022. 415 p. DOI: 10.1016/C2020-0-04021-1
10. Howard C.V., Reed M.G. Unbiased stereology: three-dimensional measurement in microscopy. 2nd ed. New York: Garland Science; 2023. 256 p. DOI: 10.1201/9780429025567
11. Scudamore C.L., Soilleux E.J. Principles of experimental pathology and histopathological assessment. Journal of Pathology. 2023;259(2):123–135. DOI: 10.1002/path.6021
12. Elmore S.A. Enhanced histopathology of toxicologic pathology studies. Toxicologic Pathology. 2022;50(6):671–684. DOI: 10.1177/01926233221116745

13. Nyska A., Maronpot R.R. Pathology of the laboratory rat and mouse. 2nd ed. Hoboken: Wiley Blackwell; 2022. 960 p. DOI: 10.1002/9781119762315
14. Bolon B., Welsch F. Cell injury, degeneration, and necrosis: morphologic features and mechanisms. *Toxicologic Pathology*. 2023;51(3):305–320. DOI: 10.1177/01926233231151109
15. Majno G., Joris I. Cells, tissues, and disease: principles of general pathology. 3rd ed. Oxford: Oxford University Press; 2024. 1040 p. DOI: 10.1093/oso/9780197612041.001.0001
16. Krysko D.V., Garg A.D., Kaczmarek A., Krysko O., Agostinis P., Vandenabeele P. Immunogenic cell death and tissue remodeling. *Nature Reviews Immunology*. 2023;23(8):455–471. DOI: 10.1038/s41577-023-00863-7
17. Frantz C., Stewart K.M., Weaver V.M. The extracellular matrix at a glance. *Journal of Cell Science*. 2022;135(6):jcs259964. DOI: 10.1242/jcs.259964
18. Potente M., Gerhardt H., Carmeliet P. Basic and therapeutic aspects of angiogenesis. *Cell*. 2023;186(7):1397–1421. DOI: 10.1016/j.cell.2023.02.020
19. Rock K.L., Kono H. The inflammatory response to cell death. *Annual Review of Pathology*. 2022;17:351–372. DOI: 10.1146/annurev-pathol-042020-012227
20. Wynn T.A., Vannella K.M. Macrophages in tissue repair, regeneration, and fibrosis. *Immunity*. 2023;56(2):260–279. DOI: 10.1016/j.immuni.2023.01.004