

УДК 611.839.31

doi:10.21685/2072-3032-2021-1-11

Морфологические параметры сенсорного нейрона межмышечного сплетения тонкой кишки

Р. Э. Бабаева

Азербайджанский медицинский университет, Баку, Азербайджан

ramilababayeva@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Цель работы: рассчитать морфометрические параметры изолированной клетки Догеля II типа из межмышечного сплетения тонкой кишки. *Материалы и методы.* Построены и изучены 3D-модели клеток Догеля II типа овальной формы из межмышечного сплетения крысы ($n = 1$). Нейроны идентифицированы импрегнационным методом на фронтальном и горизонтальном срезах стенки тонкой кишки. *Результаты.* Результаты исследования показали, что общее число узлов в виртуальной модели клетки Догеля II типа составило 36534, а элементов сетки – 156595. Полученную 3D-модель клетки и ядра уменьшили в 900 раз, с целью получения трехмерной клетки и ядра с абсолютными размерами с отношением 1:1 к их истинным размерам. Объем клетки Догеля II типа составил 2785,11 мкм³, объем ядра – 647,7 мкм³. Объем ее перикариона равен 2785,11 мкм³. *Выводы.* Клетки Догеля II типа из межмышечного сплетения тонкой кишки крысы имеют трехмерное строение овоидной формы. Клетки уплощены в поперечном и удлинены в продольном направлении.

Ключевые слова: клетка Догеля II типа, межмышечное сплетение, тонкая кишка, объем перикариона, объем ядра

Для цитирования: Бабаева Р. Э. Морфологические параметры сенсорного нейрона межмышечного сплетения тонкой кишки // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. 2021. № 1. С. 94–102. doi:10.21685/2072-3032-2021-1-11

Morphological sensory neurocyte parameters of the small intestine's intermuscular plexus

R.E. Babayeva

Azerbaijan Medical University, Baku, Azerbaijan

ramilababayeva@mail.ru

Abstract. *Background.* The purpose of this work is to calculate the morphometric parameters of isolated Dogiel type II cells from the intermuscular plexus of the small intestine. *Materials and methods.* 3D models of oval-shaped Dogiel type II cells from the intermuscular plexus of a rat ($n = 1$) were constructed and studied. Neurocytes were identified by the impregnation method on frontal and horizontal sections of the wall of the small intestine. *Results.* The results showed that the total number of nodes in the virtual model was 36534, and the mesh elements – 156595. The resulting 3D model of the cell and nucleus was reduced 900 times to obtain a three-dimensional cell and nucleus with absolute dimensions with a ratio of 1:1 to their true size. The volume of the Dogiel type II cell was 2785.11 μm^3 , the volume of the nucleus was 647.7 μm^3 and the volume of its perikaryon is 2785.11 μm^3 .

Conclusions. Digital type II cells from the intermuscular plexus of the small the intestine of rats has a three-dimensional structure of an ovoid shape. The cells are flattened in the transverse direction and elongated in the longitudinal direction.

Keywords: Dogel cells type II, intermuscular plexus, small intestine, perikaryon volume, nucleus volume

For citation: Babayeva R.E. Morphological sensory neurocyte parameters of the small intestine's intermuscular plexus. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Meditsinskie nauki = University proceedings. Volga region. Medical sciences.* 2021; 1:94–102. (In Russ.). doi:10.21685/2072-3032-2021-1-11

Введение

Вегетативные ганглии представляют собой скопление многочисленных мультиполярных нервных клеток. Величина вегетативных ганглиев существенно варьирует, в связи с этим различают крупные, средней величины, мелкие и очень мелкие (микроганглии) ганглии. Необходимо отметить, что, кроме анатомически обособленных ганглиев, по ходу вегетативных ветвей периферических нервов встречается большое количество нервных клеток, подобных нервным клеткам вегетативного ганглия. Эти нейроны, мигрирующие сюда в ходе эмбриогенеза, локализуются по ходу нервов поодиночке или образуют небольшие группы – микроганглии. Поверхность вегетативного ганглия покрыта фиброзной соединительнотканной капсулой, от которой внутрь отходят многочисленные прослойки соединительной ткани, образующей строму узла. По этим прослойкам в узел проходят кровеносные сосуды, питающие его и образующие в нем капиллярную сеть. В капсуле и строме узла часто вблизи кровеносных сосудов встречаются рецепторы – диффузные, кустиковидные или инкапсулированные [1].

Клетки Догеля – нервные клетки вегетативных ганглиев. Различают три типа клеток (I–III). Клетки I типа (длинноаксонный эфферентный нейрон) – это нейрон с короткими дендритами (расположенными в пределах ганглия) и длинным нейритом, передающим нервные импульсы от ганглия к гладкой или сердечной мышечной ткани, в функциональном отношении двигательные (эффекторные) нейроны. Клетки II типа (мультиполярные, афферентные нейроны) – это нейрон с длинным нейритом и дендритами; последние выходят за пределы ганглия, в функциональном отношении – чувствительные (афферентные) нейроны. Клетки III типа (ассоциативные, вставочные нейроны) – это нейроны с длинным нейритом (может достигать другие вегетативные ганглии), дендриты короткие (в пределах одного ганглия), в функциональном отношении – ассоциативные (вставочные) нейроны, осуществляют связь между клетками I и II типов. Клетки (I–III) являются структурной основой местных (периферических) рефлексов, рефлекторная дуга которых не заходит в отделы центральной нервной системы. Это позволяет вегетативные рефлексы делить на две группы – центральные и периферические [2].

Клетки Догеля II типа, как и полагал А. С. Догель, реально выполняют сенсорную функцию [2]. Их активность обусловлена прямым действием серотонина и, возможно, влиянием ацетилхолина [3]. Не исключено также, что между нейронами межмышечного и подслизистого сплетений существуют специальные функциональные связи [4]. Однако данные о морфометрических параметрах клеток Догеля II типа и межмышечного, и подслизистого сплете-

ний крайне противоречивы ввиду большого числа (около 40) наиболее типичных форм их перикариона [5]. Более того, считается, что нейроны в метасимпатических ганглиях по своей структуре являются плоскими и их толщина составляет всего несколько мкм [6].

Цель работы – рассчитать морфологические параметры (объемы перикариона и ядра) изолированной клетки тонкой кишки крысы.

1. Материалы и методы

Нейроны ганглиев межмышечного сплетения тонкой кишки половозрелой беспородной крысы ($n = 1$) были идентифицированы универсальным методом импрегнации [7]. После фиксации фрагмента стенки кишки в 10 % метанольном формалине (5 сут) были изготовлены ее фронтальные и горизонтальные срезы толщиной 30,0–40,0 мкм. Срезы площадью $3,0 \times 5,0$ см были заключены в канадский бальзам и изучены под микроскопом Leica 1000DM с цифровой видеосистемой. Для морфологического анализа были отобраны две клетки Догеля II типа, визуализированные на фронтальном и горизонтальном срезах стенки кишки. Морфометрические исследования клеток проведены в программном комплексе Ymadei, построение их 3D-моделей – в программе AN5Gs Arace claim v 19.2.

2. Результаты

Для оценки объема перикариона и ядра изолированных клеток Догеля II типа, расположенных во фронтальной и горизонтальной плоскостях, сделаны их цветные фотографии (рис. 1, 2).

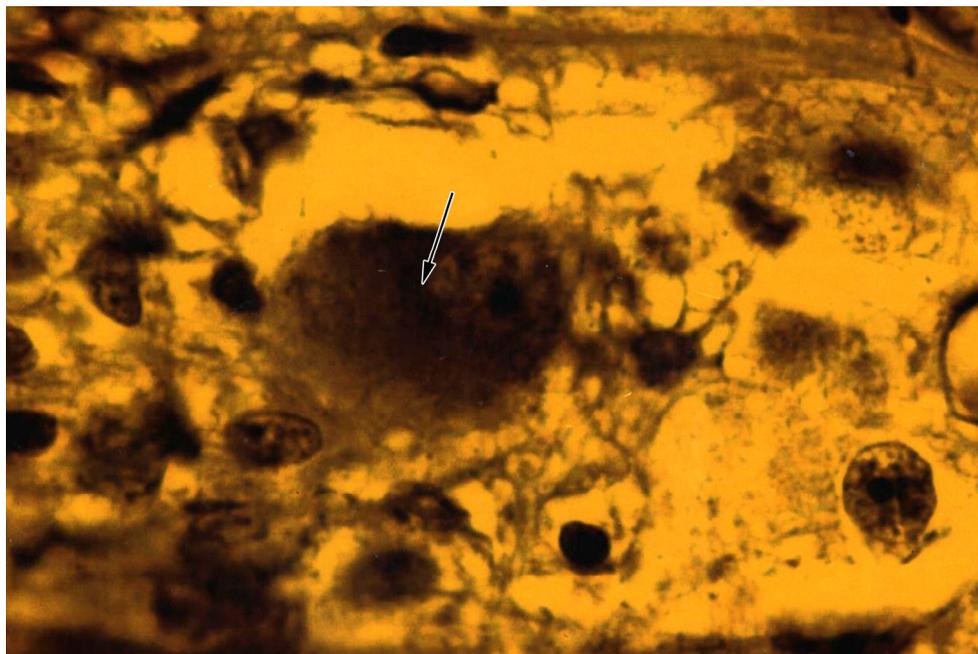


Рис. 1. Клетка Догеля II типа во фронтальной плоскости.
Универсальный метод импрегнации. $\times 900$

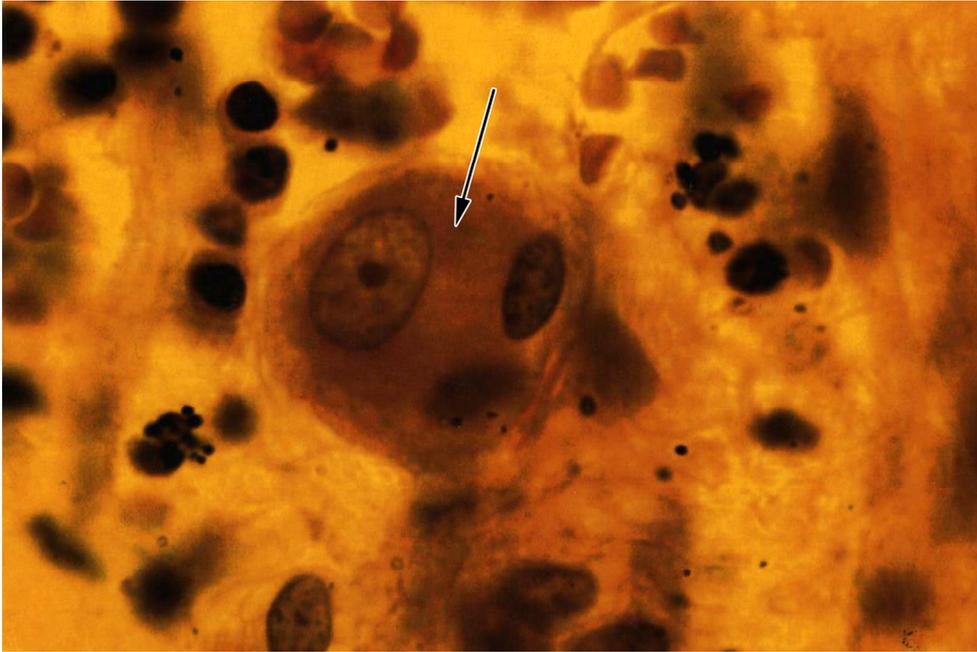


Рис. 2. Клетка Догеля II типа в горизонтальной плоскости.
Универсальный метод импрегнации. $\times 900$

Затем фотографии конвертировали в формат растровых изображений BMP (программная среда 3Dtool^R). Из этих изображений отдельно были вырезаны сечения тел нейроцитов, расположенных во фронтальном и горизонтальном срезах (рис. 3).

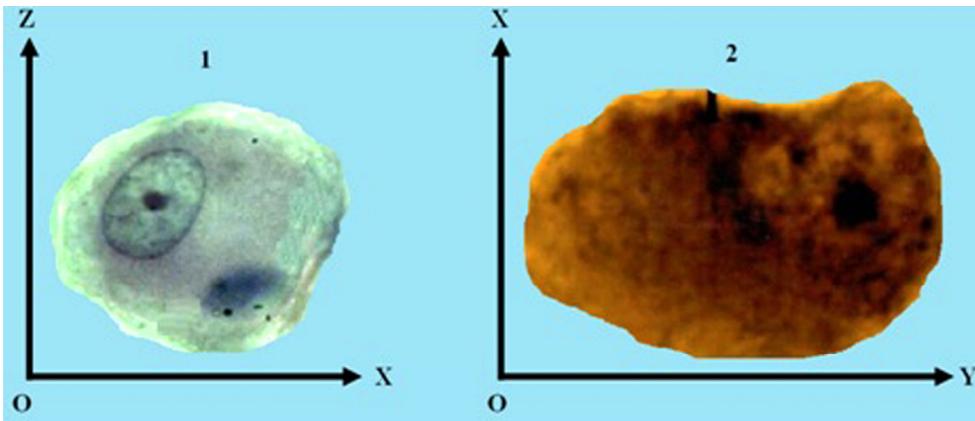


Рис. 3. Морфометрические характеристики клеток Догеля II типа в декартовой системе координат: 1 – сечение в плоскости xOz ; 2 – сечение в плоскости xOy

Полученные изображения вначале были объединены в декартовой системе координат, а затем, после совмещения плоскостей и их трансформации в Stl-файл, в твердотельную модель (в программной среде Autodesk^R). Общее число узлов в виртуальной модели клетки Догеля II типа составило 36534, а элементов сетки – 156595. Полученную 3D-модель клетки и ядра уменьши-

ли в 900 раз с целью получения трехмерной клетки и ядра с абсолютными размерами с отношением 1:1 к их истинным размерам (рис. 4, 5).

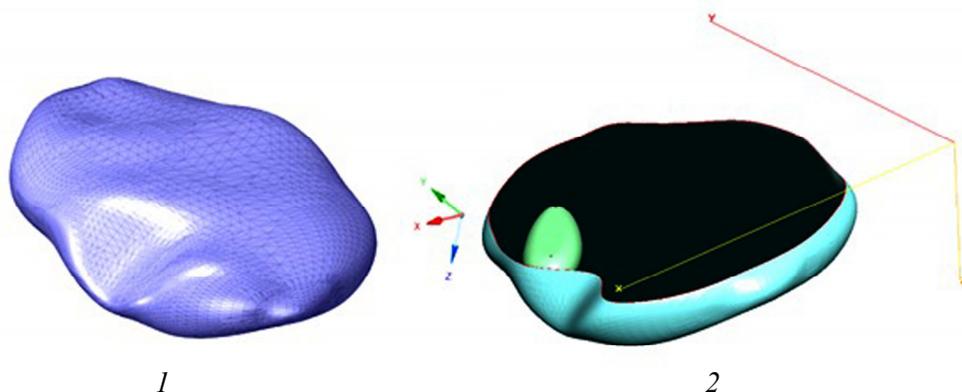


Рис. 4. Твёрдотельная модель клетки Догеля II типа:
1 – актинометрическое изображение; 2 – горизонтальное сечение клетки

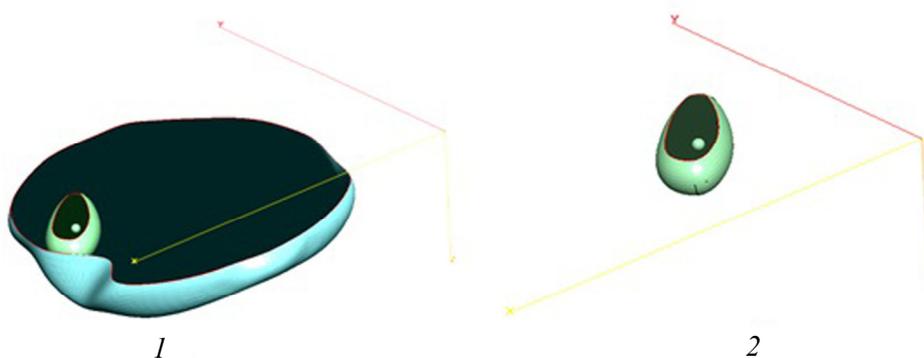


Рис. 5. Трёхмерное модель ядра клетки Догеля II типа:
1 – расположение ядра в клетке; 2 – форма ядра клетки

При расчетах был сделан ряд допущений:

- 1) сечение клетки в горизонтальной плоскости аппроксимировано до фигуры правильной формы;
- 2) расстояние между сечениями составляет 0,1 % от объема клетки;
- 3) материал исследуемого объема изотропный.

Объект исследования – тело клетки Н, габаритные характеристики которой необходимо было рассчитать, расположено между двух произвольных плоскостей.

Система координат построена так, чтобы ось Ox была перпендикулярна к плоскостям a и b . Буквами a и b обозначены абсциссы точек пересечения оси Ox с этими плоскостями ($a < b$). Будем считать, что тело клетки Н таково, что его сечение $\Phi(x)$ является плоскостью, проходящей через точку с абсциссой (x) и перпендикулярной к оси (Ox) . Таким образом, они являются эллипсом (рис. 6).

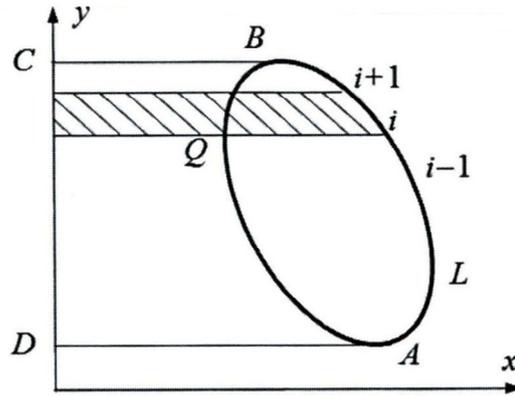


Рис. 6. Схема определения площади плоскости клетки Догеля II типа с использованием числового метода

Метод, примененный при расчете объема клетки, заключался в разбиении ее поперечного сечения на отдельные площадки и вычислении площади каждой из них с последующим сложением полученных результатов. Для определения площади заштрихованного участка (рис. 6) был применен ряд формул:

$$A^{(i)} = \frac{(x_{i+1} + x_i)}{2} (y_{i+1} - y_i); \quad (1)$$

$$S_x^{(i)} = A^{(i)} \frac{(y_{i+1} + y_i)}{2} = \frac{(x_{i+1} + x_i)}{4} (y_{i+1}^2 - y_i^2); \quad (2)$$

$$J_x^{(i)} = A^{(i)} \frac{(y_{i+1} + y_i)^2}{4} = \frac{(x_{i+1} + x_i)}{8} (y_{i+1} - y_i)(y_{i+1} + y_i)^2; \quad (3)$$

$$J_{xy}^{(i)} = A^{(i)} \frac{(x_{i+1} + x_i)(y_{i+1} + y_i)}{4} = \frac{(x_{i+1} + x_i)^2}{16} (y_{i+1}^2 - y_i^2). \quad (4)$$

Суммация A и B позволила определить особенности фигуры $ALBCD$:

$$A = \sum_{i=1}^n A^{(i)} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{i+1} + x_i)}{2} (y_{i+1} - y_i); \quad (5)$$

$$S_x = \sum_{i=1}^n S_x^{(i)} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{i+1} + x_i)}{4} (y_{i+1}^2 - y_i^2); \quad (6)$$

$$J_x = \sum_{i=1}^n J_x^{(i)} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{i+1} + x_i)}{8} (y_{i+1} - y_i)(y_{i+1} + y_i)^2; \quad (7)$$

$$J_{xy} = \sum_{i=1}^n J_{xy}^{(i)} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_{i+1} + x_i)^2}{16} (y_{i+1}^2 - y_i^2); \quad (8)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n S_y^{(i)} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_{i+1} + y_i)}{4} (x_{i+1}^2 - x_i^2); \quad (9)$$

$$J_y = \sum_{i=1}^n J_y^{(i)} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_{i+1} + y_i)}{8} (x_{i+1} - x_i)(x_{i+1} + x_i)^2. \quad (10)$$

Были получены следующие результаты: объем клетки Догеля II типа составил 2785,11 мкм³, объем ядра – 647,7 мкм³, объем ее перикариона равен 2785,11 мкм³, объем ядра – 647,7 мкм³.

3. Обсуждение

При изучении физиологических и патологических процессов в биологических системах следует учитывать основные идеи и представления кибернетики [8]. Необходимо признать, что патологический процесс слишком сложен, чтобы решать его природу без помощи математики. В связи с этим в настоящее время наиболее перспективным методом исследования гистологического материала являются САЕ-технологии. Тем более что для реконструкции нейрона, ввиду сложности его морфологии, требуется от 2000 до 3000 измерений различных его параметров [9]. При этом признается, что морфометрические параметры нейроцитов кишечника человека и собаки практически одинаковы. В литературе представлены исследования морфометрических параметров различных клеток, в том числе и нейроцитов с использованием «ручного» счета [10]. Для этого в одних случаях измерялся большой и малый поперечник перикариона и ядра, а их объемы вычислялись по формуле эллипсоида ($V = \frac{4}{3}\pi a^2 b$) [11]. В других случаях объем перикариона и ядра находился по формуле $V = ab^2$, где a – большой диаметр, b – малый. В третьих случаях, объем клеток определялся по формуле $V = a^2 b$, сферических ядер – $V = 0,52D^3$, эллипсоидных ядер – $V = 0,07(a+b)^2$ [12]. Во всех случаях отмечается небольшое число измерений при «ручном» способе подсчета и относительная малая их точность [10].

Заключение

Клетка Догеля II типа из межмышечного сплетения тонкой кишки крысы имеет трехмерное строение овоидной формы.

Клетка уплощена в поперечном и удлинена в продольном направлении.

Список литературы

1. Колосов Н. Г., Хабарова Н. Я. Структурная организация вегетативных ганглиев. Л. : Наука, 1978. 72 с.
2. Драчев А. Д. Гордость Петербургского университета – Александр Станиславович Догель // Морфология. 2002. № 5. С. 9–11.
3. Толкунов Ю. А. Сенсорные нейроны метасимпатических (интрамуральных) ганглиев тонкой кишки морской свинки // Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова. 2004. № 2. С. 221–229.

4. Costa M., Brookes S. J., Hennig J. W. Anatomy and physiology of the celiac nervous system // *Yut.* 2000. Vol. 47. P. 15–19.
5. Song Z., Costg M., Brookes S. J. H. Projections of submucous neurons to the myenteric plexus in the guinea pig small intestine // *J. Comp Neurol.* 1998. Vol. 399. P. 255–268. doi:10.1002/(sici)1096-9861(19980921)399:2<255::aid-cne8>3.0.co;2-#
6. Кошев В. И. Автономная афферентная иннервация мышечной оболочки желудочно-кишечного тракта // Структурные основы иннервации и васкуляризации скелетных мышц и мышечной оболочки полых органов млекопитающих и человека. Самара, 2010. С. 110–121.
7. Марков И. И., Петров Е. С., Маркова В. И. Универсальный метод селективного выявления аргирофильных структур // Морфологические ведомости. 2016. № 1. С. 116–119.
8. Берендеев Н. Н. Методы решения задач усталости в пакете ANS WORKBENCH : учеб.-метод. пособие. Н. Новгород, 2012. 64 с.
9. Тельцов Л. П., Кизим Э. В. Морфогенез нервной ткани в стенке толстой кишки у зародышей коровы и у новорожденных телят // Морфологические ведомости. 2002. № 1–2. С. 43–47.
10. Фофанова К. А. Фаза синтеза нейросекреторного цикла и количественная оценка активности нейронов супраоптического ядра гипоталамуса крысы // Архив анатомии и гистологии. 1974. № 7. С. 83–89.
11. Исраилов Б. И., Майоров В. Р., Соловьев Н. Л. Морфометрические характеристики нейронов тощей кишки в стареющем организме // Архив анатомии и гистологии. 1976. № 5. С. 53–56.
12. Андреев С. Ю., Замосковский Е. М. Влияние препарата культуры тканей женьшеня на морфофункциональные изменения в моторных нейронах при их активации // Архив анатомии и гистологии. 1981. № 9. С. 34–40.

References

1. Kolosov N.G., Khabarova N.Ya. *Strukturnaya organizatsiya vegetativnykh gangliiv = Structural organization of autonomic ganglia.* Leningrad: Nauka, 1978:72. (In Russ.)
2. Drachev A.D. The pride of St. Petersburg University - Alexander Stanislavovich Dogel. *Morfologiya = Morphology.* 2002;5:9–11. (In Russ.)
3. Tolkunov Yu.A. Sensory neurons of metasympathetic (intramural) ganglia of the small intestine of a guinea pig. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal imeni I. M. Sechenova = Russian physiological journal named after I. M. Sechenov.* 2004;2:221–229. (In Russ.)
4. Costa M., Brookes S.J., Hennig J.W. Anatomy and physiology of the celiac nervous system. *Yut.* 2000;47:15–19.
5. Song Z., Costg M., Brookes S.J.H. Projections of submucous neurons to the myenteric plexus in the guinea pig small intestine. *J. Comp Neurol.* 1998;399:255–268. doi:10.1002/(sici)1096-9861(19980921)399:2<255::aid-cne8>3.0.co;2-#
6. Koshev V.I. Autonomous afferent innervation of the muscular membrane of the gastrointestinal tract. *Strukturnye osnovy innervatsii i vaskulyarizatsii skeletnykh myshts i myshechnoy obolochki polykh organov mlekopitayushchikh i cheloveka = Structural bases of innervation and vascularization of skeletal muscles and muscular membrane of hollow organs of mammals and humans.* Samara, 2010:110–121. (In Russ.)
7. Markov I.I., Petrov E.S., Markova V.I. A universal method for the selective detection of argyrophilic structures. *Morfologicheskie vedomosti = Morphological bulletin.* 2016;1:116–119. (In Russ.)
8. Berendeev N.N. *Metody resheniya zadach ustalosti v pakete ANS WORKBENCH: ucheb.-metod. posobie = Methods for solving fatigue problems in the ANS WORKBENCH package: study guide.* Nizhniy Novgorod, 2012:64. (In Russ.)
9. Tel'tsov L.P., Kizim E.V. Morphogenesis of nerve tissue in the colon wall in cow embryos and in newborn calves. *Morfologicheskie vedomosti = Morphological bulletin.* 2002;1–2:43–47. (In Russ.)

10. Fofanova K.A. The synthesis phase of the neurosecretory cycle and quantitative assessment of the activity of neurons in the supraoptic nucleus of the rat hypothalamus. *Arkhiv anatomii i gistologii = Archive of anatomy and histology*. 1974;7:83–89. (In Russ.)
11. Israilov B.I., Mayorov V.R., Solov'ev N.L. Morphometric characteristics of jejunal neurons in an aging organism. *Arkhiv anatomii i gistologii = Archive of anatomy and histology*. 1976;5:53–56. (In Russ.)
12. Andreev S.Yu., Zamoskovskiy E.M. Effect of a ginseng tissue culture preparation on morphofunctional changes in motor neurons upon their activation. *Arkhiv anatomii i gistologii = Archive of anatomy and histology*. 1981;9:34–40. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Рамила Эмил кызы Бабаева

кандидат медицинских наук,
ассистент кафедры анатомии человека
и медицинской терминологии,
Азербайджанский медицинский
университет (Азербайджан, г. Баку,
ул. Бакиханова, 23)

E-mail: ramilababayeva@mail.ru

Ramila Emil Babayeva

Candidate of medical sciences, assistant
of the sub-department of human anatomy
and medical terminology, Azerbaijan
Medical University (23 Bakikhanova
street, Baku, Azerbaijan)

Поступила в редакцию / Received 20.01.2021

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 29.01.2021

Принята к публикации / Accepted 11.01.2021