



Check for updates

Экспериментальные статьи

УДК 577.11:611.8:612.64/.65

EDN IZKECG

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2026-7-2-220-227>

Участие превертебральных узлов в симпатической иннервации желудка у кошек в постнатальном онтогенезе

П. М. Маслюков ^{✉1}, А. И. Емануйлов ¹, Р. В. Березников ¹, В. В. Порсева ¹

¹ Ярославский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации, 150000, Россия, Ярославль, ул. Революционная, д. 5

Сведения об авторах

Петр Михайлович Маслюков, SPIN-код: [7676-0849](#), Scopus AuthorID: [6602102222](#), ResearcherID: [P-2896-2016](#), ORCID: [0000-0002-6230-5024](#), e-mail: mpm@ysmu.ru

Андрей Игоревич Емануйлов, SPIN-код: [7590-9404](#), Scopus AuthorID: [55934994400](#), ResearcherID: [AAP-3421-2021](#), ORCID: [0000-0002-4561-4001](#), post_doc@mail.ru

Роман Васильевич Березников, e-mail: romaberz@mail.ru

Валентина Вячеславовна Порсева, e-mail: vvporseva@mail.ru

Для цитирования: Маслюков, П. М., Емануйлов, А. И., Березников, Р. В., Порсева, В. В. (2026) Участие превертебральных узлов в симпатической иннервации желудка у кошек в постнатальном онтогенезе.

Интегративная физиология, т. 7, № 2, с. 220–227. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2026-7-2-220-227> EDN IZKECG

Получена 20 февраля 2026; прошла рецензирование 13 марта 2026; принята 20 марта 2026.

Финансирование: Исследование не имело финансовой поддержки.

Права: © П. М. Маслюков, А. И. Емануйлов, Р. В. Березников, В. В. Порсева (2026). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY 4.0.

Аннотация. Желудок у млекопитающих иннервируется нейронами симпатических превертебральных ганглиев: парными чревными (ЧГ) и непарным краниальным брыжеечным (КБГ). Целью исследования явилось определение расположения и нейрохимических характеристик симпатических нейронов ЧГ и КБГ, иннервирующих желудок у кошек различных возрастных групп (1, 10, 20, 30 суток, 6 месяцев, а также 10 лет (старые)) с использованием метода ретроградного аксонного транспорта быстрого голубого (Fast Blue) в сочетании с иммуногистохимией. У кошек всех исследованных возрастных групп в ЧГ количество меченых нейронов преобладало относительно КБГ. Число меченых FB-нейронов увеличивалось в первые 10 суток жизни в ЧГ и в 20 суток — в КБГ и далее оставалось постоянным, включая старых животных. Все меченые клетки являлись катехоламинергическими и проявляли иммунореактивность (ИР) к ключевому ферменту биосинтеза катехоламинов — тирозингидроксилазе. Процент меченых FB-нейропептид Y-ИР и соматостатин-ИР-нейронов оставался постоянным на протяжении жизни животных, в то время как кальбиндин-ИР меченые нейроны отсутствовали у всех исследованных кошек. Таким образом, связи превертебральных узлов с желудком являются у кошек сформированными к моменту рождения. Число симпатических нейронов, иннервирующих желудок, увеличивается в постнатальном онтогенезе, в то время как их нейрохимический состав остается постоянным.

Ключевые слова: симпатические нейроны, желудок, иннервация, нейропептид Y, тирозингидроксилаза, соматостатин, постнатальный онтогенез

Participation of prevertebral ganglia in the sympathetic innervation of the stomach in cats during postnatal ontogenesis

P. M. Masliukov ¹, A. I. Emanuilov ¹, R. V. Bereznikov ¹, V. V. Porseva ¹

¹ Yaroslavl State Medical University, 5 Revolucionnaya Str., Yaroslavl 150000, Russia

Authors

Petr M. Masliukov, SPIN: 7676-0849, Scopus AuthorID: 6602102222, ResearcherID: P-2896-2016, ORCID: 0000-0002-6230-5024, e-mail: mpm@ysmu.ru

Andrey I. Emanuilov, SPIN: 7590-9404, Scopus AuthorID: 55934994400, ResearcherID: AAP-3421-2021, ORCID: 0000-0002-4561-4001, post_doc@mail.ru

Roman V. Bereznikov, e-mail: romaberz@mail.ru

Valentina V. Porseva, e-mail: vvporseva@mail.ru

For citation: Masliukov, P. M., Emanuilov, A. I., Bereznikov, R. V., Porseva, V. V. (2026) Participation of prevertebral ganglia in the sympathetic innervation of the stomach in cats during postnatal ontogenesis. *Integrative Physiology*, vol. 7, no. 2, pp. 220–227. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2026-7-2-220-227> EDN IZKECG

Received 20 February 2026; **reviewed** 13 March 2026; **accepted** 20 March 2026.

Funding: The study had no any financial support.

Copyright: © P. M. Masliukov, A. I. Emanuilov, R. V. Bereznikov, V. V. Porseva (2026). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY License 4.0](#).

Abstract. The stomach in mammals is innervated by neurons of the sympathetic prevertebral ganglia: paired celiac ganglia (CG) and unpaired superior mesenteric ganglion (SMG). The aim of the study was to determine the localization and neurochemical characteristics of the sympathetic neurons of the CG and SMG innervating the stomach in cats of different age groups (1, 10, 20, 30 days, 6 months, and 10 years (old)) using the method of retrograde axonal transport of Fast Blue (FB) in combination with immunohistochemistry. In cats of all studied age groups, the number of labeled neurons in the CG predominated compared to the SMG. The number of FB-labeled neurons increased in the first 10 days of life in the CG and at 20 days in the SMG, and then remained constant, including in aged animals. All labeled cells were catecholaminergic and showed immunoreactivity (IR) to the key enzyme of catecholamine biosynthesis — tyrosine hydroxylase. The percentage of FB-labeled neuropeptide Y-IR and somatostatin-IR neurons remained constant throughout the life of the animals, while calbindin-IR-labeled neurons were absent in all cats studied. Thus, connections between the prevertebral ganglia and the stomach are established in cats by the time of birth. The number of sympathetic neurons innervating the stomach increases during postnatal development, while their neurochemical composition remains constant.

Keywords: sympathetic neurons, stomach, innervation, neuropeptide Y, tyrosine hydroxylase, somatostatin, postnatal ontogenesis

Введение

У млекопитающих желудок иннервируется симпатическими превертебральными ганглиями, представленными парными чревными ганглиями (ЧГ) и непарным краниальным брыжеечным узлом (КБГ) (Quinson et al. 2001; Szurszewski, Linden 2012; Wan et al. 2025). В желудке симпатические нейроны иннервируют внутристеночные артерии, интрамуральные ганглии межмышечного сплетения и гладкие мышцы (преимущественно круговые). У крыс наиболее плотная симпатическая иннервация наблюдается в артериях и ганглиях межмышечного сплетения (Walter et al. 2016). Однако симпатические волокна редко иннервируют слизистую оболочку (Furness et al. 2020).

В составе превертебральных симпатических нейронов, наряду с ферментом синтеза катехоламинов тирозингидроксилазой (ТН), определяются неuropeпиды: неuropeпид Y (NPY) и соматостатин (SOM). При этом в части нейронов экспрессируется и кальбиндин (СВ), относящийся к группе кальций-связывающих белков (Kaestner et al. 2019; Kumari et al. 2024; Maslyukov et al. 2010; Wang et al. 2025). У крыс и кошек в ходе возрастного развития процент СВ-содержащих симпатических нейронов увеличивается с момента рождения до 10 суток, затем снижается до конца первого месяца жизни (Masliukov et al. 2012).

В большинстве случаев нейроны ЧГ, иннервирующие желудок морских свинок, обладают иммунореактивностью (ИР) к тирозингидроксилазе

(ТН-ИР). Нейроны, содержащие нейропептид Y (NPY), составляют 35%, а нейроны, иммунореактивные к соматостатину (SOM-ИР), — 10% от общего числа нейронов ЧГ (Trudrung et al. 1994). У свиньи из нейронов, иннервирующих желудок, 77–94% были ТН-ИР, 40–47% — NPY-ИР, 12–14% — SOM-ИР и 8% — СВ-ИР (Palus, Całka 2016; Palus et al. 2017, 2018; Zalecki 2012). В желудке симпатические волокна, иммунореактивные к ТН и NPY, иннервируют кровеносные сосуды, интрамуральные ганглии межмышечного и подслизистого сплетений желудка, продольную и циркулярную мускулатуру, а также слизистую. SOM-ИР аксоны были распределены в пределах межмышечного сплетения (Nourinezhad et al. 2017; Zalecki 2012).

Принято считать, что симпатическая иннервация внутренних органов к моменту рождения, по крайней мере у грызунов, отсутствует, а у кошек является незрелой (Gainullina et al. 2024; Masliukov 2000). В онтогенезе при воздействии различных трофических факторов химический состав нейронов может претерпевать изменения (Ernsberger et al. 2020; Masliukov et al. 2005, 2006, 2022). В литературе имеются данные о возрастных особенностях иннервации желудка у мелких лабораторных животных, в частности у крыс (Emanuilov et al. 2018), однако отсутствуют данные о становлении симпатической иннервации у более крупных животных, в частности у кошек.

Целью работы послужило определение расположения и нейрохимического состава симпатических нейронов ЧГ и КБГ кошки, посылающих свои аксоны к желудку, в постнатальном онтогенезе.

Методы исследования

Животные и наркоз

Экспериментальные работы были выполнены на 30 кошках в возрасте 1, 10, 20, 30 суток, 6 месяцев после рождения, а также на старых 10-летних кошках, при этом каждая возрастная группа состояла из пяти животных. Котята содержались вместе со своими матерями до отъема от матери на 30-й день. Животным предоставляли неограниченный доступ к пище, их содержали в контролируемых условиях при температуре 20–22 °С и влажности 40–70% при 12-часовом световом и 12-часовом темном цикле. Все процедуры с животными проводили в соответствии с правилами местного этического комитета Ярославского государственного медицинского университета (№ 60 от 16 февраля 2023 г.).

В соответствии с ранее описанной нами методикой (Emanuilov et al. 2018) под уретановым наркозом (1 г/кг, внутривенно) 2% раствор прочного синего (Fast Blue (FB), «Polysciences», США) на фосфатно-солевом буфере (PBS, 0,01 М, pH 7,4) инъецировали в стенку пилорической области желудка с помощью микрошприца в дозе по 10 мкл в каждом уколе. У кошек в возрасте до 20 суток делали 2–3 инъекции, у одномесячных — 5–6, у двухмесячных — 6–8 и у более взрослых — 10–15 инъекций. Послеоперационный период составлял 24 ч для животных в возрасте 1–30 сут и 48 ч для более взрослых.

После окончания послеоперационного периода кошкам вводили летальную дозу уретана (3 г/кг, внутривенно), после чего животных перфузировали транскардиально PBS с гепарином, а затем фиксирующей смесью 4% параформальдегида на PBS. Извлекали ЧГ и КБГ и оставляли еще на два часа в фиксирующей смеси. После завершения фиксации ЧГ и КБГ трижды промывали в течение 30 минут в PBS, после чего проводили криопротекцию путем погружения на 12 ч в 20%-ном раствор сахарозы (pH 7,4) при 4 °С. Затем образцы помещали в среду Tissue-Tek® O.C.T. (Sakura Finetek Europe, Нидерланды) и замораживали в криотоме. После этого с помощью криотома (Shandon E, Thermo Fisher Scientific, Великобритания) изготавливали срезы толщиной 14 мкм и монтировали их на предметные стекла SuperFrost™ Plus (Thermo Fisher Scientific, Великобритания).

Нейроны, ИР к ТГ, NPY, КБ и SOM выявляли при помощи иммуногистохимического метода по ранее описанной нами методике (Emanuilov et al. 2018). Предварительно срезы блокировали буфером, содержащим 5% ослиной сыворотки (Jackson ImmunoResearch Laboratories, США), 0,1% бычьего сывороточного альбумина и 0,3% Triton X-100 (Sigma, США) в PBS на протяжении ночи при комнатной температуре. Далее на стеклах проводили инкубацию с первичными антителами (табл. 1) в течение суток при комнатной температуре, после чего осуществляли инкубацию с вторичными антителами на протяжении двух часов. Использовали вторичные антитела против овцы, кролика и козы, конъюгированные с одним из флуорохромов: Cy3 (индокарбоцианин) с красным свечением и FITC (флуоресцеин-изотиоцианат) с зеленым свечением (разведение 1:150, «Jackson ImmunoResearch», США). После трех дополнительных промывок PBS срезы покрывали покровными стеклами с использованием среды для флуоресцентной микроскопии VectaShield® (Vector Bioproducts, США).

Табл. 1. Характеристика первичных антител

Тип антител	Животное-донор	Разведение	Источник
ТГ	Овца	1:1000	Abcam (Великобритания)
СОМ	Коза	1:200	Santa-Cruz (США)
НРУ	Кролик	1:500	Abcam (Великобритания)
СВ	Кролик	1:500	Abcam (Великобритания)

Table 1. Characteristics of primary antibodies

Antibody type	Donor species	Dilution	Source
TH	Sheep	1:1000	Abcam (UK)
SOM	Goat	1:200	Santa-Cruz (USA)
NPY	Rabbit	1:500	Abcam (UK)
CB	Rabbit	1:500	Abcam (UK)

Обработка изображений

Препараты исследовали с помощью флуоресцентного микроскопа Olympus BX43 (Токио, Япония), оснащенного наборами фильтров, позволяющими отдельно визуализировать FITC, CY3 или FB. Флуоресцентные микроскопические изображения получали с помощью охлаждаемой цифровой CCD камеры FL 20 и программного обеспечения для обработки изображений Mosaic V2.1 для Windows (Tucsen, Китай). Нейроны, меченые FB, флуоресценцировали синим, а иммунореактивные к исследуемым маркерам — зеленым или красным в зависимости от используемого флуорохрома. Каждое изображение обрабатывали только с помощью фильтра резкости, а также регулировки контраста и яркости. Все изображения были обработаны с помощью свободно распространяемого растрового графического редактора GIMP (версия 3.0).

Количество ИР-нейронов подсчитывали в случайно выбранных полях зрения. Чтобы избежать дублирования подсчета нейронов, в каждом срезе подсчитывали только те тела нервных клеток, которые содержали четко идентифицированное ядро. Для определения процента ИР-нейронов, содержащих FB, подсчитывали общее количество ИР-нейронов в измеренной области и принимали их за 100%. Подсчет ИР-нейронных профилей осуществляли в случайно выбранных областях (площадь поля зрения микроскопа равнялась 0,12 мм²) при 200-кратном увеличении. В анализ были включены данные из 10 измеренных областей в каждой ганглии на каждую возрастную группу на каждое животное. Среднюю долю определяли путем усреднения долей, полученных

от пяти животных. Площади поперечного сечения сомы определяли с помощью свободного программного обеспечения ImageJ.

Статистический анализ

Статистические методы включали расчет среднего значения и стандартной ошибки среднего. Данные представлены как средние значения $\pm$ стандартная ошибка. Различия средних значений подвергали двухфакторному дисперсионному анализу (ANOVA) с последующим апостериорным тестом Тьюки для множественных сравнений. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

У всех кошек в ЧГ определялось достоверно большее число меченых FB нейронов, иннервирующих желудок, по сравнению с КБГ ($p < 0,05$). Процент нейронов, иннервирующих желудок, достоверно увеличивался в первые 10 суток жизни в ЧГ и в 20 суток — в КБГ ($p < 0,001$ по сравнению с новорожденными и 10-суточными в ЧГ, а также новорожденными и 20-суточными в КБГ) (рис. 1). При этом в ЧГ число меченых FB-нейронов увеличивалось в 2,3 раза, в КБГ — в 2,5 раз относительно новорожденных. Далее в онтогенезе число меченых нейронов достоверно не изменялось ($p > 0,05$).

Все меченые FB-нейроны, расположенные в ЧГ и КБГ, колокализовали ТН во всех исследованных возрастных группах от новорожденных котят до старых кошек (рис. 2). От 30 до 40% нейронов исследованных превертебральных ганглиев меченых FB демонстрировали ИР к SOM у кошек всех возрастов (рис. 2, 3). Достоверных

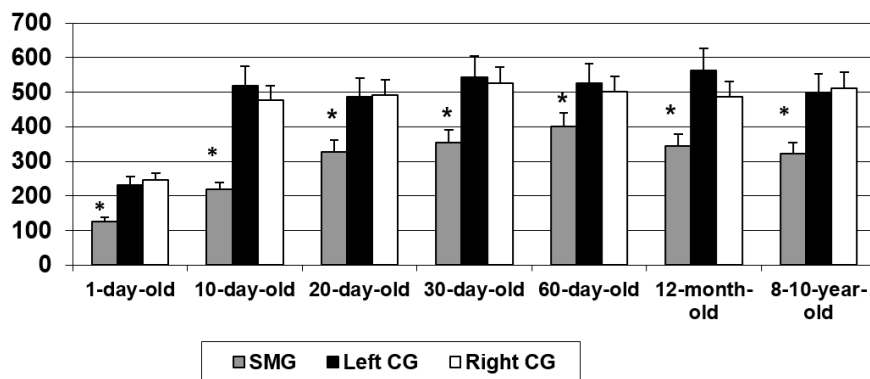


Рис. 1. Количество превертебральных симпатических нейронов, иннервирующих желудок, у кошек разного возраста (* — $p < 0,05$, различия достоверны по сравнению с левым и правым ЧГ)

Fig. 1. Number of prevertebral sympathetic neurons innervating the stomach in cats of different ages (* — $p < 0.05$, differences are significant compared to the left and right CG)

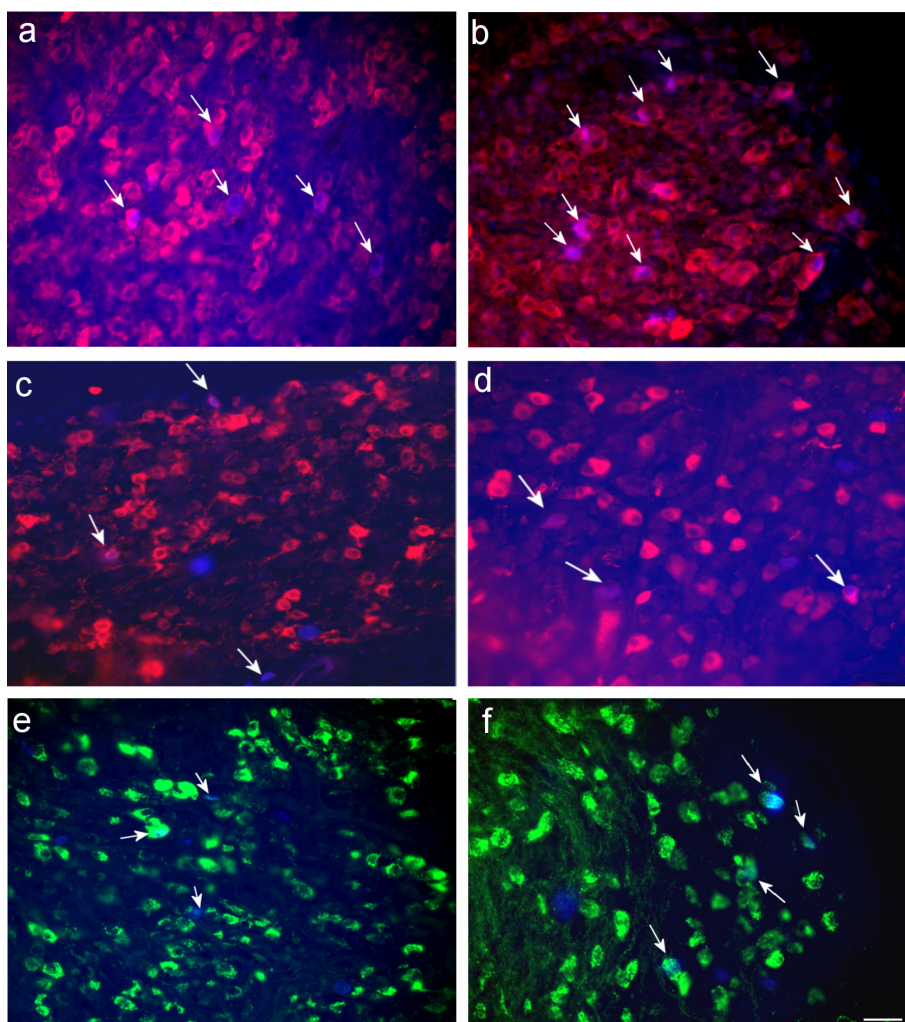


Рис. 2. Нейроны ЧГ 10- (a, b, d) и 30-суточных (c, e, f) кошек. Двойное мечение. ТГ-ИР (a, b, красные) СОМ-ИР (c, d, красные) и НPY-ИР- (e, f, зеленые) нейроны, содержащие метку FB (синие), иннервирующие желудок. Флюоресценция FITC (зеленый цвет), CY3 (красный), FB (синий). ИР-нейроны, содержащие FB, указаны стрелкой. Масштаб: 40 мкм.

Fig. 2. Neurons in the CG of 10- (a, b, d) and 30-day-old (c, e, f) cats. Double labeling. TH-IR (a, b, red), SOM-IR (c, d, red), and NPY-IR (e, f, green) neurons containing the FB label (blue) innervating the stomach. FITC fluorescence (green), CY3 (red), and FB (blue). IR neurons containing FB are indicated by an arrow. Scale bar: 40 μ m.

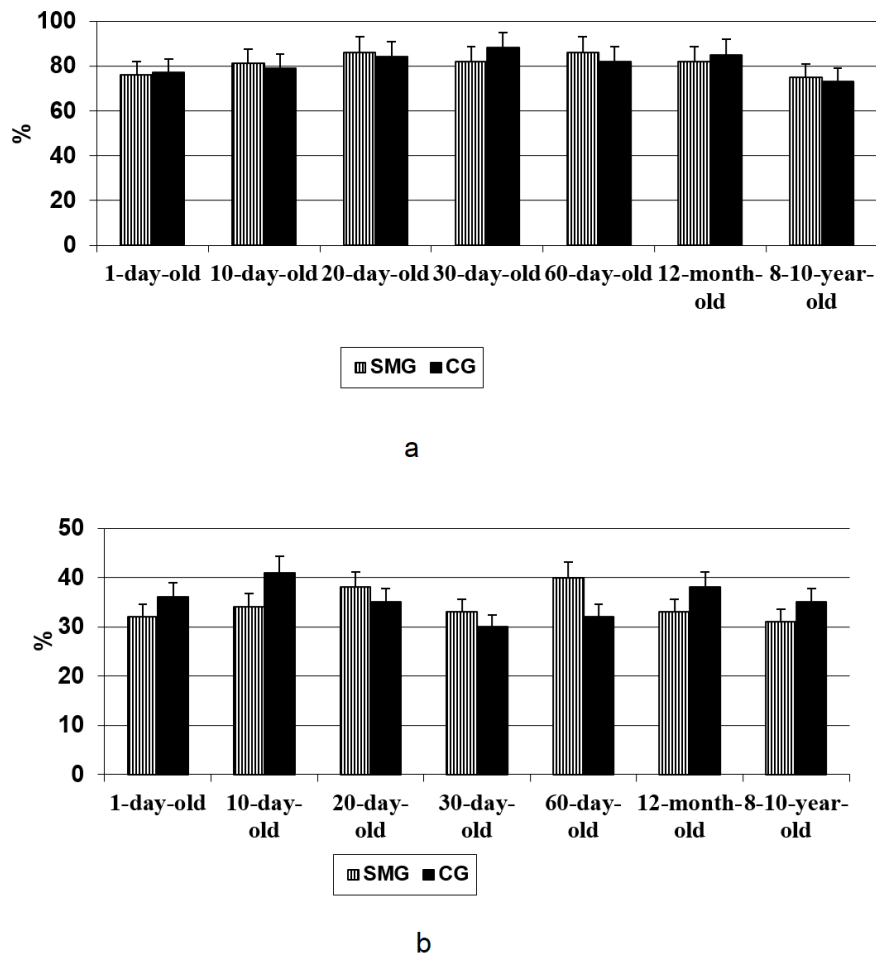


Рис. 3. Процент NPY-ИР (а) и SOM-ИР (б) нейронов, иннервирующих желудок, у кошек в симпатических ганглиях в постнатальном онтогенезе (%)

Fig. 3. Percentage of NPY-IR (a) and SOM-IR (b) neurons innervating the stomach in cats in sympathetic ganglia during postnatal ontogenesis (%)

различий по проценту данных нейронов в различных возрастных группах не имелось ($p > 0,05$). Большая часть (74–86%) меченых FB-нейронов в ЧГ, а также КБГ у всех кошек колокализовала NPY (рис. 2, 3). В каждой возрастной группе доля NPY-ИР нейронов превосходила аналогичный показатель для SOM-ИР-нейронов ($p < 0,001$). Тем не менее процент NPY-ИР меченых FB-нейронов в онтогенезе достоверно не изменялся ($p > 0,05$). КБ-ИР меченые нейроны в ЧГ и КБГ не обнаруживались на протяжении всего постнатального онтогенеза.

Обсуждение результатов

Данные настоящего исследования убедительно демонстрируют, что аксоны симпатических нейронов ганглиев солнечного сплетения формируют контакты с желудком уже к моменту рождения, что соответствует ранее полученным

сведениям о возрастной динамике симпатической иннервации сердца (Masliukov 2000). У кошек процент нейронов, иннервирующих желудок, увеличивается в первые 10 суток жизни в ЧГ и в 20 суток — в КБГ. Наибольшее количество меченых нейронов у крыс и кошек локализовано в ЧГ по сравнению с КБГ. Согласно данным наших предыдущих исследований, у крыс в первые 10 суток жизни процент нейронов, иннервирующих желудок, увеличивается (Emanuilov et al. 2018).

Все меченые FB-нейроны ЧГ и КБГ экспрессировали TH у всех исследованных кошек. При этом часть из них колокализовала NPY. Доля NPY-ИР и SOM-ИР меченых FB-нейронов остается постоянной в онтогенезе, а СВ-ИР меченые нейроны не выявлялись. Данные о нейрохимических характеристиках ТГ-ИР-нейронов, иннервирующих желудок у взрослых крыс и кошек, частично соответствуют данным, полученным

при исследовании иннервации свиней и морских свинок, однако у этих видов был ниже процент NPY-ИР- и SOM-ИР-клеток (Palus et al. 2016, 2017, 2018; Szurszewski, Linden 2012).

У крыс же процент меченых NPY-ИР также в онтогенезе оставался постоянным. Однако процент SOM-ИР-нейронов значительно возрастал на протяжении первых 30 суток жизни кошек. У новорожденных и 10-суточных крыс — существенная доля нейронов ЧГ и КБГ, иннервирующих желудок, обнаруживала иммунореактивность к СВ. При этом процент СВ-ИР меченых нейронов достоверно уменьшался с 10-х по 30-е сутки жизни (Emanuilov et al. 2018).

Таким образом, несмотря на имеющиеся литературные данные о том, что симпатическая иннервация, по меньшей мере у грызунов, к моменту рождения не функционирует (Gainullina et al. 2024; Puzdrova et al. 2014), наши данные свидетельствуют, что анатомические связи превертебральных узлов с органами-мишенями брюшной полости у новорожденных кошек являются сформированными. При этом постоянство нейрохимического состава превертебральных нейронов, иннервирующих желудок, у кошек в отличие от крыс на протяжении постнатального онтогенеза свидетельствует о более зрелой симпатической иннервации данного органа после рождения у данного вида животных в отличие от крыс.

Заключение

По данным настоящего исследования, у кошек связи нейронов превертебральных узлов с желудком имеются уже у новорожденных. В иннервации желудка ЧГ играет большую роль по сравнению с КБГ во всех возрастных группах. Нейроны превертебральных узлов, иннервирующие желудок, являются катехоламинергическими и экспрессируют ТГ. Также часть их колокализует NPY и СОМ. Процент меченых FB NPY- и СОМ-ИР-нейронов в онтогенезе остается постоянным.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Соответствие принципам этики

Программа и протокол исследования одобрены Этическим комитетом Ярославского государственного медицинского университета, протокол № 60 от 16.02.2023 г.

Ethics Approval

The program and protocol of the study were approved by the Ethics Committee of the Yaroslavl State Medical University, Minutes of the Meeting No. 60, 16 February 2023.

Вклад авторов

- а. Маслюков Петр Михайлович — идея работы и планирование эксперимента, обработка данных, написание и редактирование статьи;
- б. Емануйлов Андрей Игоревич — сбор данных, обработка данных;
- в. Березников Роман Васильевич — сбор данных;
- г. Порсева Валентина Вячеславовна — обработка данных.

Author Contributions

- a. Petr M. Masliukov — conceptualization and experimental design, data processing, writing and editing the manuscript;
- b. Andrey I. Emanuilov — data collection, data processing;
- c. Roman V. Bereznikov — data collection;
- d. Valentina V. Porseva — data processing.

References

- Emanuilov, A. I., Konovalov, V. V., Maslyukov, P. M. et al. (2018) Age-related changes in sympathetic innervation of the stomach in rats. *Advances in Gerontology*, vol. 31, no. 6, pp. 937–942. (In Russian)
- Ernsberger, U., Deller, T., Rohrer, H. (2020) The diversity of neuronal phenotypes in rodent and human autonomic ganglia. *Cell and tissue research*, vol. 382, no. 2, pp. 201–231. <https://doi.org/10.1007/s00441-020-03279-6> (In English)
- Furness, J. B., Di Natale, M., Hunne, B. et al. (2020) The identification of neuronal control pathways supplying effector tissues in the stomach. *Cell and Tissue Research*, vol. 382, no. 3, pp. 433–445. <https://doi.org/10.1007/s00441-020-03294-7> (In English)

- Gainullina, D. K., Tarasova, O. S., Shvetsova, A. A. (2024) Regulation of vascular smooth muscle cell contraction during early postnatal ontogenesis. *Bulletin of Moscow University. Series 16: Biology*, vol. 79, (Suppl. 1), pp. S49–S58. <https://doi.org/10.3103/S0096392524600777> (In English)
- Kaestner, C. L., Smith, E. H., Peirce, S. G., Hoover, D. B. (2019) Immunohistochemical analysis of the mouse celiac ganglion: An integrative relay station of the peripheral nervous system. *The Journal of comparative neurology*, vol. 527, no. 16, pp. 2742–2760. <https://doi.org/10.1002/cne.24705> (In English)
- Kumari, R., Pascual, R., Wang, H. et al. (2024) Sympathetic NPY controls glucose homeostasis, cold tolerance, and cardiovascular functions in mice. *Cell reports*, vol. 43, no. 2, article 113674. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2024.113674> (In English)
- Masliukov, P. M. (2000) Connections of the cat stellate ganglion with target organs during postnatal ontogenesis. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, vol. 86, no. 6, pp. 703–710. (In Russian)
- Masliukov, P. M., Emanuilov, A. I., Budnik, A. F. (2022) Sympathetic innervation of the development, maturity, and aging of the gastrointestinal tract. *The Anatomical Record: Advances in Integrative Anatomy and Evolutionary Biology*, vol. 306, no. 9, pp. 2249–2263. <https://doi.org/10.1002/ar.25015> (In English)
- Masliukov, P. M., Korobkin, A. A., Nozdrachev, A. D., Timmermans, J. P. (2012) Calbindin-D28k immunoreactivity in sympathetic ganglionic neurons during development. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical*, vol. 167, no. 1–2, pp. 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2011.11.005> (In English)
- Maslyukov, P. M., Korzina, M. B., Emanuilov, A. I., Shilkin, V. V. (2010) Neurotransmitter composition of neurons in the cranial cervical and celiac sympathetic ganglia in postnatal ontogenesis. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, vol. 40, no. 2, pp. 143–147. (In English)
- Masliukov, P. M., Nozdrachev, A. D., Timmermans, J. P. (2006) The age-bound specifics of the stellate ganglion neurons' transmitter composition. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, vol. 92, no. 2, pp. 214–220. (In Russian)
- Masliukov, P. M., Shilkin, V. V., Timmermans, J. P. (2005) Immunocytochemical characteristic of neurons of mouse truncus sympathicus stellate ganglion in postnatal ontogenesis. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, vol. 128, no. 5, pp. 41–44. (In Russian)
- Nourinezhad, J., Podlasz, P., Wasowicz, K. (2017) Immunohistochemical characteristics of neurons in the ganglia of the greater splanchnic nerve of the pig. *Folia Histochemica et Cytobiologica*, vol. 55, no. 4, pp. 221–229. <https://doi.org/10.5603/FHC.a2017.0021> (In English)
- Palus, K., Bulc, M., Calka, J. (2017) Changes in somatostatin-like immunoreactivity in the sympathetic neurons projecting to the prepyloric area of the porcine stomach induced by selected pathological conditions. *BioMed research International*, vol. 2017, article 9037476. <https://doi.org/10.1155/2017/9037476> (In English)
- Palus, K., Bulc, M., Czajkowska, M. et al. (2018) Neurochemical characteristics of calbindin-like immunoreactive coeliac-cranial mesenteric ganglion complex (CCMG) neurons supplying the pre-pyloric region of the porcine stomach. *Tissue and Cell*, vol. 50, pp. 8–14. <https://doi.org/10.1016/j.tice.2017.12.002> (In English)
- Palus, K., Calka, J. (2016) Alterations of neurochemical expression of the coeliac-superior mesenteric ganglion complex (CSMG) neurons supplying the prepyloric region of the porcine stomach following partial stomach resection. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, vol. 72, pp. 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2015.12.011> (In English)
- Puzdrova, V. A., Kudryashova, T. V., Gaynullina, D. K. et al. (2014) Trophic action of sympathetic nerves reduces arterial smooth muscle Ca^{2+} sensitivity during early post-natal development in rats. *Acta physiologica (Oxford, England)*, vol. 212, no. 2, pp. 128–141. <https://doi.org/10.1111/apha.12331> (In English)
- Quinson, N., Robbins, H. L., Clark, M. J., Furness, J. B. (2001) Locations and innervation of cell bodies of sympathetic neurons projecting to the gastrointestinal tract in the rat. *Archives of Histology and Cytology*, vol. 64, no. 3, pp. 281–294. <https://doi.org/10.1679/aohc.64.281> (In English)
- Szurszewski, J. H., Linden, D. R. (2012) Physiology of prevertebral sympathetic ganglia. In: *Physiology of the Gastrointestinal Tract. Vol. 1*. Amsterdam: Elsevier Publ., pp. 583–627. (In English)
- Trudrung, P., Furness, J. B., Pompolo, S., Messenger, J. P. (1994) Locations and chemistries of sympathetic nerve cells that project to the gastrointestinal tract and spleen. *Archives of Histology and Cytology*, vol. 57, no. 2, pp. 139–150. <https://doi.org/10.1679/aohc.57.139> (In English)
- Walter, G. C., Phillips, R. J., McAdams, J. L., Powley, T. L. (2016) Individual sympathetic postganglionic neurons coinnervate myenteric ganglia and smooth muscle layers in the gastrointestinal tract of the rat. *The Journal of Comparative Neurology*, vol. 524, no. 13, pp. 2577–2603. <https://doi.org/10.1002/cne.23978> (In English)
- Wan, Y., Cao, C., Zeng, W. (2025) The sympathetic neurons in the gut: Perspectives on metabolic and immune health and diseases. *Current Opinion in Neurobiology*, vol. 93, article 103051. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2025.103051> (In English)
- Wang, T., Tufenkjian, A., Ajjola, O. A., Oka, Y. (2025) Molecular and functional diversity of the autonomic nervous system. *Nature reviews Neuroscience*, vol. 26, no. 10, pp. 607–622. <https://doi.org/10.1038/s41583-025-00941-2> (In English)
- Zalecki, M. (2012) Localization and neurochemical characteristics of the extrinsic sympathetic neurons projecting to the pylorus in the domestic pig. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, vol. 43, no. 1, pp. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2011.08.004> (In English)