

УДК 616.34-002-092+591.434.1+575.16+611.34-018+612.65
<https://doi.org/10.56871/FRP.2026.49.91.005>

МОРФОГЕНЕЗ КИШЕЧНЫХ ВОРСИНОК В РАННЕМ ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ

Наталья Рафаиловна Карелина

Санкт-Петербургский медико-социальный институт, 195271, г. Санкт-Петербург, Кондратьевский пр., д. 72, лит. А, Российская Федерация

Для цитирования: Карелина Н.Р. Морфогенез кишечных ворсинок в раннем постнатальном онтогенезе. *Forcipe*. 2026;9(1):43–47. <https://doi.org/10.56871/FRP.2026.49.91.005>.

Поступила: 19.12.2025

Одобрена: 03.02.2026

Принята к печати: 27.03.2026

РЕЗЮМЕ. Введение. Кишечные ворсинки представляют собой ключевые морфофункциональные структуры слизистой оболочки тонкой кишки, обеспечивающие всасывание нутриентов. Несмотря на длительную историю изучения, ряд аспектов их постнатальной перестройки недостаточно систематизирован. **Целью** настоящего литературного обзора явилось обобщение данных о морфогенезе кишечных ворсинок в раннем постнатальном онтогенезе у лабораторных животных и человека. **Материалы и методы.** Проведен аналитический обзор отечественных и зарубежных публикаций, посвященных постнатальному формированию ворсинок тонкой кишки. Поиск литературы осуществлялся в базах данных PubMed, eLIBRARY. **Результаты.** На момент рождения ворсинки тощей кишки имеют пальцевидную конфигурацию и лишены складчатости. В течение первой недели жизни начинается миграция энтероцитов из поверхностных крипт на ворсинки, что приводит к их удлинению. К 14-м суткам появляется легкая складчатость, а к концу первого месяца строение стенки кишки приближается к дефинитивному. Форма ворсинок последовательно трансформируется от пальцевидной к языкообразной и далее к гребенчатой. У крыс высота ворсинок увеличивается к 9 месяцам в 3 раза, у человека — в 2 раза от рождения до взрослого состояния. В раннем постнатальном периоде на верхушках ворсинок наблюдается активное слущивание дегенерирующих энтероцитов, которому предшествуют характерные ультраструктурные изменения. **Заключение.** Постнатальный морфогенез кишечных ворсинок представляет собой закономерную последовательность структурных преобразований, определяемых балансом клеточной пролиферации, миграции и апоптоза энтероцитов. Характер питания является существенным модулирующим фактором этого процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кишечные ворсинки, морфогенез, постнатальный онтогенез, энтероциты, крипты, тонкая кишка, слизистая оболочка

Источник финансирования. Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

✉ Наталья Рафаиловна Карелина. E-mail: karelina_nr@mail.ru

© Карелина Н.Р., 2026

<https://doi.org/10.56871/FRP.2026.49.91.005>

MORPHOGENESIS OF INTESTINAL VILLI IN EARLY POSTNATAL ONTOGENESIS

Natalia R. Karelina

Saint Petersburg Medical and Social Institute, 72A Kondratievsky ave., Saint Petersburg, 195271, Russian Federation

For citation: Karelina N.R. Morphogenesis of intestinal villi in early postnatal ontogenesis. *Forcipe*. 2026;9(1):43–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/FRP.2026.49.91.005>.

Received: 19.12.2025

Revised: 03.02.2026

Accepted: 27.03.2026

ABSTRACT. Introduction. Intestinal villi are key morphofunctional structures of the small intestinal mucosa responsible for nutrient absorption. Despite a long history of research, certain aspects of their postnatal remodeling remain insufficiently systematized. **Aim** — to summarize available data on the morphogenesis of intestinal villi during the early postnatal ontogenesis in laboratory animals and humans. **Materials and methods.** An analytical review of domestic and international publications on the postnatal formation of small intestinal villi was performed. Literature search was conducted in PubMed and eLIBRARY databases. **Results.** At birth, jejunal villi have a finger-like configuration without folding. During the first week of life, enterocyte migration from superficial crypts onto the villi begins, leading to their elongation. By day 14, slight folding appears, and by the end of the first month, the intestinal wall structure approaches its definitive form. Villous shape sequentially transforms from finger-like to tongue-like and then to ridge-like. In rats, villous height increases 3-fold by 9 months of age; in humans, it doubles from birth to adulthood. In the early postnatal period, active desquamation of degenerating enterocytes is observed at the villous tips, preceded by characteristic ultrastructural changes. **Conclusion.** Postnatal morphogenesis of intestinal villi represents a sequential pattern of structural transformations determined by the balance of enterocyte proliferation, migration, and apoptosis. The type of nutrition is a significant modulating factor in this process.

KEYWORDS: intestinal villi, morphogenesis, postnatal ontogenesis, enterocytes, crypts, small intestine, mucosa

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

✉ Natalia R Karelina. E-mail: karelina_nr@mail.ru

© Karelina N.R., 2026

ВВЕДЕНИЕ

Тонкая кишка — орган, морфологическая организация которого непосредственно определяет эффективность пищеварения и всасывания. Центральное место в этой организации занимают кишечные ворсинки, многократно увеличивающие площадь контакта слизистой оболочки с химусом [1]. И хотя основные закономерности эмбрионального формирования ворсинчатого аппарата изучены достаточно подробно, постнатальная перестройка — период, в течение которого кишечная стенка приобретает дефинитивные черты, заслуживает особого внимания. Именно в первые недели постнатального онтогенеза тонкая кишка испытывает резкую смену условий функционирования: переход от амниотрофного и гематотрофного типов питания к энтеральному [2]. Адаптация к новым условиям требует стремительной структурной перестройки слизистой оболочки, и любое нарушение этого процесса потенциально чревато расстройствами всасывания в неонатальном периоде.

Целью настоящего краткого обзора явилась систематизация данных о морфогенезе кишечных ворсинок тонкой кишки в раннем постнатальном онтогенезе, преимущественно на модели лабораторных крыс.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТИНА К МОМЕНТУ РОЖДЕНИЯ

Стенка тощей кишки 21-дневного эмбриона крысы и новорожденного животного по своему строению практически идентична. Ворсинки к этому сроку высокие, без признаков складчатости; пространства между ними представляют собой зоны будущего формирования крипт [3]. Примечательно, что крипты не «врастают» в глубину кишечной стенки, а межворсинчатый эпителий перестраивается таким образом, что соединение крипты–ворсинка смещается от мышечного слоя к просвету кишки [4]. На наш взгляд, это обстоятельство нередко упускают из виду в учебной литературе, где формирование крипт традиционно описывают как процесс инвагинации эпителия.

ДИНАМИКА ПЕРВЫХ НЕДЕЛЬ

Первая неделя жизни знаменуется началом миграции энтероцитов из поверхностных крипт на ворсинки, уже заселенные клетками фетального происхождения [3]. Это при-

водит к постепенному увеличению ворсинок в длину. После 10-х суток удлинение продолжается, но уже преимущественно за счет преобладания пролиферативных процессов в криптальном эпителии [4]. К 14-му дню постнатального развития в ворсинках появляется легкая складчатость, а к концу первого месяца строение стенки кишки уже аналогично таковому у взрослого животного [5].

Конфигурация ворсинок претерпевает закономерную трансформацию. В период новорожденности у всех исследованных видов форма ворсинок приближается к пальцевидной [6]. Далее они последовательно становятся языкообразными (после первой недели), а спустя 4 недели приобретают гребенчатую форму с длинными осями, ориентированными перпендикулярно проксимально-дистальной оси кишки. Длина гребешков продолжает увеличиваться с возрастом.

Количественные параметры весьма показательны. У крыс от рождения до 9 месяцев высота ворсинок возрастает примерно в 3 раза, достигая 518 мкм. Толщина слоя крипт к 9 месяцам составляет 218 мкм, однако затем значительно уменьшается до 130 мкм к 24 месяцам [4]. Соотношение длины ворсинок к толщине криптального слоя меняется нелинейно: 8:1 у новорожденных, 2,6:1 в 9 месяцев, 3,7:1 в 24 месяца. Обращает на себя внимание и то, что максимальная длина ворсинок не увеличивается до 10-х суток в двенадцатиперстной кишке и до 14-х суток в подвздошной [4]. У человека высота ворсинок от рождения до взрослого состояния увеличивается вдвое [7]; длина микроворсинок линейно коррелирует с глубиной крипт [3]. Количество энтероцитов на поперечный срез ворсинки в первые три месяца жизни возрастает приблизительно втрое [8].

УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭНТЕРОЦИТОВ И ПРОЦЕССЫ ДЕСКВАМАЦИИ

Непосредственно после кормления в энтероцитах обнаруживают пузырьки, в супрануклеарной зоне — признаки пиноцитоза. Впоследствии они укрупняются и перемещаются в субнуклеарную область; межклеточные пространства расширяются, принимая содержащее пузырьков [9]. Между энтероцитами при этом проникают эозинофильные гранулоциты.

В раннем постнатальном периоде на ворсинках ворсинок закономерно наблюдается десквамация эпителиоцитов. Ей предшествует

цепочка ультраструктурных событий: просветление цитоплазмы, набухание органоидов, распад микроворсинок и разрыв мембраны гигантских лизосом [10]. У 5–10-дневных крыс дегенерирующие энтероциты постоянно встречаются на верхушках ворсинок дистальных отделов тонкой кишки. Наиболее ранним признаком гибели клеток является внезапное просветление матрикса цитоплазмы вокруг лизосом и фаголизосом; затем в их мембране формируются дефекты, через которые лизосомные гидролазы поступают в цитоплазматический матрикс, лизируя субклеточные компоненты. На завершающем этапе микротрубочки микроворсинок расширяются, превращаясь в крупные пузырьки, которые отторгаются вместе с участком апикальной плазматической мембраны в просвет кишки [10]. На 3-й неделе жизни снижается и активность ферментов щеточной каемки.

Роль характера питания

Представляется вероятным, что сам по себе период сосания не вызывает резких изменений морфологии и клеточного обновления тонкой кишки [11]. Вместе с тем присутствие твердых компонентов в корме, по-видимому, служит важным стимулом пролиферации энтероцитов и нормального развития тонкой кишки в раннем онтогенезе. Согласно гипотезе А.И. Al-Nafussi и N.A. Wright [12], твердая диета ускоряет гибель клеток слизистой оболочки, продуцирующих кейлоны, что опосредованно стимулирует пролиферацию в криптах. Примечательно, что полное отсутствие пищи в просвете тонкой кишки в период отъема существенно тормозит ее развитие, однако данный эффект оказывается полностью обратимым [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Постнатальный морфогенез кишечных ворсинок — это процесс многоэтапный, в ходе которого пальцевидные структуры новорожденного последовательно приобретают дефинитивную гребенчатую конфигурацию. Ключевую роль играет баланс между пролиферацией энтероцитов в криптах, их миграцией на ворсинки и запрограммированной гибелью на верхушках. Соотношение ворсинка-крипта меняется нелинейно на протяжении жизни; его динамика, на взгляд автора, может быть использована в качестве морфометрического маркера зрелости кишечной стенки. Характер питания выступает существенным мо-

дулирующим фактором: присутствие твердых компонентов в пище стимулирует клеточное обновление, тогда как депривация питания тормозит развитие слизистой оболочки, хотя и обратимо. Дальнейшее изучение молекулярных механизмов, регулирующих перестройку ворсинчатого аппарата, представляется перспективным направлением, способным расширить наше понимание патогенеза неонатальных энтеропатий.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Автор прочитал и одобрил финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

The author read and approved the final version before publication.

Competing interests. The author declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хэм А., Кормак Д. Гистология. Т. 4. М.: Мир; 1983.
2. Шабалов Н.П. Неонатология. В 2 т. Т. 1. 7-е изд. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2020.
3. Smith M.W. Postnatal development of transport function in the pig intestine. *Comp Biochem Physiol A Comp Physiol*. 1988;90(4):577–582. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(88\)90670-6](https://doi.org/10.1016/0300-9629(88)90670-6).
4. Calvert R., Pothier P. Migration of fetal intestinal intervillous cells in neonatal mice. *Anat Rec*. 1990;227(2):199–206. <https://doi.org/10.1002/ar.1092270208>.
5. Юлдашев А.Ю. Морфогенез тощей кишки крыс в постнатальном онтогенезе. *Архив анатомии, гистологии и эмбриологии*. 1972;63(8):55–61.
6. Hirano S., Kataoka K. Histogenesis of the mouse jejunal mucosa, with special reference to proliferative cells and absorptive cells. *Arch Histol Jpn*. 1986;49(3):333–348. <https://doi.org/10.1679/aohc.49.333>.
7. Rother P., Gruber H., Gründer W. et al. Die Schleimhautoberfläche des Dünndarms. Morphologische Aspekte der Resorptionskapazität im Altersgang. *Anat Anz*. 1973;133:293–300. (In German).
8. Leutert G., Rother P., Gruber H. et al. Quantitative Untersuchungen an der Dünndarmzotte des Menschen vom Neugeborenen bis zum Greisenalter. *Anat Anz*. 1984;156:175–184. (In German).

9. Vágnerová R. Ultrastructure of the enterocytes of the jejunum during the first week of postnatal life. *Folia Morphol (Praha)*. 1984;32(3):241–250.
10. Gossrau R. Die Bedeutung der lysosomalen Enzyme für die Zerstörung der apikalen Zellmembran der Enterozyten. *Histochemistry*. 1975;43(4):329–341. <https://doi.org/10.1007/BF00490195>.
11. Attaix D., Meslin J.-C. Changes in small intestinal mucosa morphology and cell renewal in suckling, prolonged-suckling, and weaned rats. *Am J Physiol*. 1991;261(6 Pt 1):G895–G901. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.1991.261.6.G895>.
12. Al-Nafussi A.I., Wright N.A. Cell kinetics in the mouse small intestine during immediate postnatal life. *Virchows Arch B Cell Pathol Incl Mol Pathol*. 1982;40(1):51–62. <https://doi.org/10.1007/BF02932850>.
13. Castillo R.O., Feng J.J., Jing Y. et al. Nutrient-independent growth of the small intestine after weaning in the rat. *Dig Dis Sci*. 1991;36(12):1698–1704. <https://doi.org/10.1007/BF01296614>.
5. Yuldashev A.Yu. Morphogenesis of the rat jejunum in postnatal ontogenesis. *Arkhiv Anatomii, Gistologii i Embriologii*. 1972;63(8):55–61. (In Russ.).
6. Hirano S., Kataoka K. Histogenesis of the mouse jejunal mucosa, with special reference to proliferative cells and absorptive cells. *Arch Histol Jpn*. 1986;49(3):333–348. <https://doi.org/10.1679/aohc.49.333>.
7. Rother P., Gruber H., Gründer W. et al. Die Schleimhautoberfläche des Dünndarms. Morphologische Aspekte der Resorptionskapazität im Altersgang. *Anat Anz*. 1973;133:293–300. (In German).
8. Leutert G., Rother P., Gruber H. et al. Quantitative Untersuchungen an der Dünndarmzotte des Menschen vom Neugeborenen bis zum Greisenalter. *Anat Anz*. 1984;156:175–184. (In German).
9. Vágnerová R. Ultrastructure of the enterocytes of the jejunum during the first week of postnatal life. *Folia Morphol (Praha)*. 1984;32(3):241–250.
10. Gossrau R. Die Bedeutung der lysosomalen Enzyme für die Zerstörung der apikalen Zellmembran der Enterozyten. *Histochemistry*. 1975;43(4):329–341. <https://doi.org/10.1007/BF00490195>. (In German).
11. Attaix D., Meslin J.-C. Changes in small intestinal mucosa morphology and cell renewal in suckling, prolonged-suckling, and weaned rats. *Am J Physiol*. 1991;261(6 Pt 1):G895–G901. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.1991.261.6.G895>.
12. Al-Nafussi A.I., Wright N.A. Cell kinetics in the mouse small intestine during immediate postnatal life. *Virchows Arch B Cell Pathol Incl Mol Pathol*. 1982;40(1):51–62. <https://doi.org/10.1007/BF02932850>.
13. Castillo R.O., Feng J.J., Jing Y. et al. Nutrient-independent growth of the small intestine after weaning in the rat. *Dig Dis Sci*. 1991;36(12):1698–1704. <https://doi.org/10.1007/BF01296614>.

REFERENCES

1. Ham A., Cormack D. Histology. Vol. 4. Moscow: Mir; 1983. (In Russ.).
2. Shabalov N.P. Neonatology. In 2 vol. Vol. 1. 7th ed. Moscow: GEOTAR-Media; 2020. (In Russ.).
3. Smith M.W. Postnatal development of transport function in the pig intestine. *Comp Biochem Physiol A Comp Physiol*. 1988;90(4):577–582. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(88\)90670-6](https://doi.org/10.1016/0300-9629(88)90670-6).
4. Calvert R., Pothier P. Migration of fetal intestinal intervillous cells in neonatal mice. *Anat Rec*. 1990;227(2):199–206. <https://doi.org/10.1002/ar.1092270208>.
5. Yuldashev A.Yu. Morphogenesis of the rat jejunum in postnatal ontogenesis. *Arkhiv Anatomii, Gistologii i Embriologii*. 1972;63(8):55–61. (In Russ.).
6. Hirano S., Kataoka K. Histogenesis of the mouse jejunal mucosa, with special reference to proliferative cells and absorptive cells. *Arch Histol Jpn*. 1986;49(3):333–348. <https://doi.org/10.1679/aohc.49.333>.
7. Rother P., Gruber H., Gründer W. et al. Die Schleimhautoberfläche des Dünndarms. Morphologische Aspekte der Resorptionskapazität im Altersgang. *Anat Anz*. 1973;133:293–300. (In German).
8. Leutert G., Rother P., Gruber H. et al. Quantitative Untersuchungen an der Dünndarmzotte des Menschen vom Neugeborenen bis zum Greisenalter. *Anat Anz*. 1984;156:175–184. (In German).
9. Vágnerová R. Ultrastructure of the enterocytes of the jejunum during the first week of postnatal life. *Folia Morphol (Praha)*. 1984;32(3):241–250.
10. Gossrau R. Die Bedeutung der lysosomalen Enzyme für die Zerstörung der apikalen Zellmembran der Enterozyten. *Histochemistry*. 1975;43(4):329–341. <https://doi.org/10.1007/BF00490195>. (In German).
11. Attaix D., Meslin J.-C. Changes in small intestinal mucosa morphology and cell renewal in suckling, prolonged-suckling, and weaned rats. *Am J Physiol*. 1991;261(6 Pt 1):G895–G901. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.1991.261.6.G895>.
12. Al-Nafussi A.I., Wright N.A. Cell kinetics in the mouse small intestine during immediate postnatal life. *Virchows Arch B Cell Pathol Incl Mol Pathol*. 1982;40(1):51–62. <https://doi.org/10.1007/BF02932850>.
13. Castillo R.O., Feng J.J., Jing Y. et al. Nutrient-independent growth of the small intestine after weaning in the rat. *Dig Dis Sci*. 1991;36(12):1698–1704. <https://doi.org/10.1007/BF01296614>.

ОБ АВТОРЕ

✉ **Наталья Рафаиловна Карелина** — д.м.н., профессор, профессор кафедры нормальной и топографической анатомии.
E-mail: karelina_nr@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-9409-8819>; SPIN: 4940-1551

AUTHOR'S INFO

✉ **Natalia R. Karelina** — Dr. Sci. (Med.), Professor, Professor of the Department of Normal and Topographic Anatomy.
E-mail: karelina_nr@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-9409-8819>; SPIN: 4940-1551