

## ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА СТРУКТУРНЫХ И ЦИТОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЩЕЙ КИШКИ КРЫС

Вороник Ю. Н. (Julia\_Nikol@mail.ru), Мацюк Я. Р. (Matsiuk39@mail.ru)

УО «Гродненский государственный медицинский университет», Гродно, Беларусь

*Введение.* Функции тощей кишки многообразны, но все они в той или иной степени обеспечивают реализацию двух ведущих процессов в организме: гидролиза поступивших нутриентов и их всасывания.

*Цель:* изучить в условиях нормы особенности возрастного становления структурных и цитохимических показателей тощей кишки крыс в постнатальном онтогенезе.

*Материал и методы.* Эксперимент проведён на 35 крысах 15, 45 и 90-суточного возраста. Использован комплекс гистологических, гистохимических, электронно-микроскопических методов с последующим морфометрическим и статистическим анализом.

*Результаты.* Установлено, что структурная организация тощей кишки интенсивно развивается с 15-х по 45-е сутки, что, вероятно, обусловлено переходом с молочного типа питания на дефинитивный.

*Выводы.* Микроворсинчатый эпителий к 15-м суткам уже полностью сформирован и обладает высокой структурной и цитохимической организацией, обеспечивающей сразу после рождения интенсивный уровень пристеночного пищеварения и всасывание образующихся при этом мономеров.

**Ключевые слова:** тощая кишка, потомство.

### Введение

Тонкая кишка ввиду выполнения многообразных функций (секреторной, транспортно-эвакуаторной, всасывательной, защитной, депонирующей, гормональной и пр.) в значительной степени определяет нормальную жизнедеятельность организма в разные периоды его жизни [1]. Функционирование тонкой кишки в целом направлено на реализацию двух ведущих процессов: гидролиза поступивших нутриентов и всасывания образующихся при этом мономеров. Однако выраженность её функциональной активности в разные возрастные периоды неодинакова [2, 3, 4], что, вероятно, обусловлено возрастными структурными особенностями кишки. Тонкая кишка состоит из трёх отделов: двенадцатиперстной, тощей и подвздошной. В тощей кишке, занимающей значительную часть тонкой кишки, благодаря начатому в двенадцатиперстной кишке гидролизу поступивших из желудка питательных веществ осуществляется интенсивный процесс их деполимеризации до стадии ди- и мономеров с последующим всасыванием. Именно в тощей кишке преобладает перенос продуктов гидролиза от апикальной плазмолеммы энтероцитов к базальной с последующим проникновением в кровеносные и лимфатические сосуды [5, 6, 7, 8].

Учитывая важность тощей кишки в обеспечении организма пластическим и энергетическим материалом, была поставлена цель исследования: изучить в условиях нормы особенности возрастного становления структурных и цитохимических показателей тощей кишки крыс в постнатальном онтогенезе.

### Материал и методы

Объектом исследования служили 35 животных, полученных от 17 беспородных самок белых крыс изначальной массой  $180 \pm 20$  г. Изучение динамики становления морфофункциональных свойств тощей кишки у потомства белых крыс проводили на 15-е (ранний постнатальный

период – 12 животных), 45-е (пубертатный период – 12 животных) и 90-е сутки (половозрелый период – 11 крыс) постнатального онтогенеза. Животных содержали в стандартных условиях вивария [9] с соблюдением правил гуманного обращения с животными [10].

Родившихся крыс по достижении ими 15, 45, 90-суточного возраста после выдерживания на 12-часовом голоде выводили из опыта лёгким эфирным наркозом с последующей декапитацией и забором средней части тощей кишки. Одни кусочки только что взятого материала после фиксации в жидкости Карнуа и охлаждённом ацетоне заключали в парафин. Парафиновые срезы толщиной

5 мкм после окраски гематоксилином и эозином использовали для гистологических и морфометрических исследований. Измеряли общую толщину стенки тощей кишки, её слизистой оболочки, высоту ворсин, глубину крипт, толщину мышечной оболочки. В микроворсинчатых эпителиоцитах ворсинок и крипт определяли высоту, толщину щёточной каёмки и периметр ядер. В крипах подсчитывали количество эпителиоцитов, число среди них бокаловидных клеток и митотически делящихся форм (%). На парафиновых срезах толщиной 10 мкм в эпителиоцитах определяли содержание и локализацию гликопротеинов (ГП) по Шабадашу, сиаломуцинов (СМ) по Spicer (альциановый синий, при pH 2,5), рибонуклеопротеинов (РНП) по Эйнарсону и щелочной фосфатазы (ЩФ) по Гомори [11]. На парафиновых срезах тощей кишки, окрашенных альциановым синим, при pH 1,0, на единицу плотности слизистой оболочки определяли локализацию, численную плотность тучных клеток и их типологический профиль. Другие кусочки взятого материала после общепринятой обработки использовали для электронно-микроскопических исследований [12, 13]. Полученные на ультрамикротоме MT-7000 ULTRA (USA) ультратонкие срезы, контрастированные 2% раствором уранилацетата на 50% метано-

ле [14] и цитратом свинца по E.S. Reynolds [15], изучали в электронном микроскопе JEM-1011 (JEOL, Япония). Третьи кусочки материала тощей кишки подвергали глубокому замораживанию в жидком азоте с последующим монтированием на объектодержатели в криостате фирмы Leica SM 1850 (Leica Microsystems GmbH, Германия) при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$ . В криостатных срезах толщиной 10 мкм в эпителиоцитах слизистой оболочки определяли локализацию и активность дегидрогеназ: сукцината (СДГ; сукцинат: акцептор – оксидоредуктаза; КФ 1.3.99.1 по Нахласу и др., 1957), лактата (ЛДГ; L-лактат: НАД-оксидоредуктаза; КФ 1.1.1.27; по Гесс и др., 1958), и восстановленного НАДН (НАДН·ДГ; акцептор-оксидоредуктаза; КФ 1.6.93.3 по Нахласу и др., 1958). Все гистохимические реакции сопровождались бессубстратными контролями [11].

Изучение гистологических и гистохимических препаратов на разных увеличениях, с последующим морфо- и цитофотометрическим анализом, изготовление иллюстрационного материала осуществляли с использованием микроскопа Axioskop 2 plus (Германия), оснащённого цифровой камерой Leica DFC 320 (Германия). Для морфо- и цитофотометрической обработки использовали программу Image Warp (Bit Flow, USA). Размеры структур выражали в микрометрах (мкм), содержание РНП, активность ферментов – в единицах оптической плотности (ед. опт. пл.), а содержание гликопротеинов, сиаломуцинов, щелочной фосфатазы оценивали путём визуального анализа. Полученные цифровые данные обрабатывали методами непараметрической и параметрической статистики с помощью компьютерной программы Statistica 6.0 для Windows. Для обработки данных использовали двусторонний непарный U-критерий Манна-Уитни. Данные в таблицах представлены в виде Me (IQR), где Me – медиана, а IQR – интерквартильный размах, данные по тучным клеткам – в виде среднего значения (M) и ошибки среднего (m). Результаты считались достоверными при значениях  $p < 0,05$ .

#### Результаты и обсуждение

На 15-е сутки постнатального развития все структуры тощей кишки крыс сформированы. Их морфометрические параметры представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Морфометрические показатели структур оболочек тощей кишки в разные возрастные периоды крыс (Me (IQR))

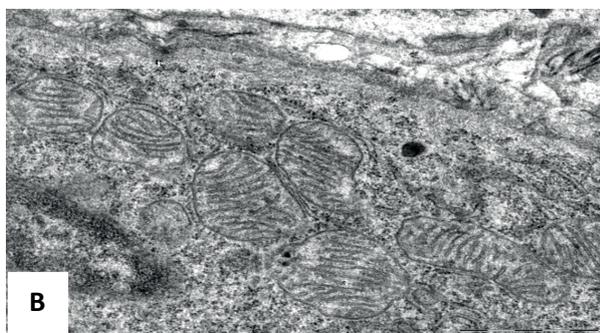
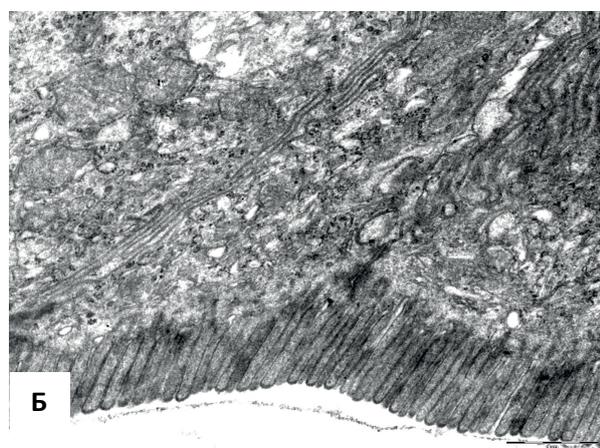
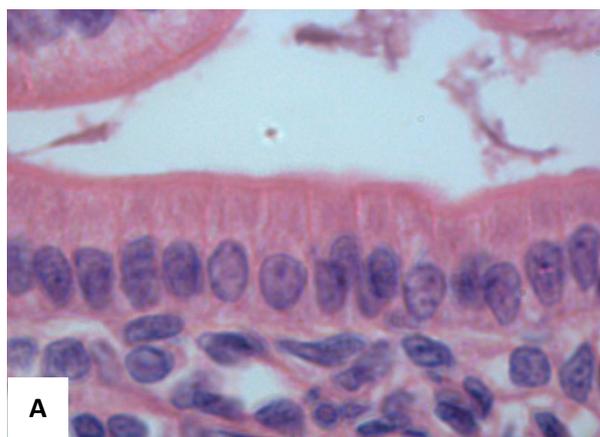
Показатели (мкм)	15-е сутки	45-е сутки	90-е сутки
Толщина стенки	387,19 (7,91)	709,27 (42,43)**	804,62 (51,85)*
Толщина слизистой оболочки	327,50 (27,80)	597,26 (43,15)**	650,03 (54,34)*
Высота ворсин	265,13 (3,19)	343,31 (39,44)**	347,43 (43,20)
Высота эпителиоцитов ворсин	13,07 (1,32)	23,45 (2,60)**	25,30 (0,65)*
Толщина щёточной каёмки эпителиоцитов	1,36 (0,13)	1,61 (0,07)**	1,83 (0,08)*
Периметр ядер эпителиоцитов ворсин	17,28 (1,15)	21,27 (1,36)**	21,04 (0,99)
Количество бокаловидных клеток среди эпителиоцитов ворсин (шт.)	7,00 (0,50)	28,75 (3,75)**	28,00 (2,50)
Ширина гемокапилляров стромы ворсин	3,75 (0,68)	3,63 (1,13)	3,79 (0,66)
Глубина крипт	50,41 (3,13)	207,80 (35,68)**	215,88 (7,65)
Количество эпителиоцитов в крипте (шт.)	16,25 (0,50)	69,75 (2,75)**	83,25 (4,00)*
Высота эпителиоцитов крипт	9,60 (0,36)	13,77 (1,95)**	14,70 (1,04)*
Периметр ядер эпителиоцитов крипт	16,21 (1,55)	19,13 (0,91)**	19,29 (0,70)
Митотический индекс эпителиоцитов крипт (‰)	23,00 (3,00)	36,50 (6,50)**	34,00 (6,50)
Количество бокаловидных клеток среди эпителиоцитов крипт (шт.)	4,00 (0,75)	17,50 (3,50)**	16,00 (0,75)
Ширина гемокапилляров межкриптной стромы	2,77 (0,91)	3,45 (0,80)	3,26 (0,47)
Толщина мышечной оболочки	42,68 (14,55)	127,75 (24,28)**	129,75 (16,95)
Толщина внутреннего слоя мышечной оболочки	26,05 (5,29)	79,26 (9,30)**	85,47 (10,41)
Толщина наружного слоя мышечной оболочки	12,04 (1,44)	40,29 (6,64)**	44,43 (4,24)

Примечание – \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$  при сравнении 15 и 45-х суток; + –  $p < 0,05$ , ++ –  $p < 0,01$  при сравнении 45 и 90-х суток

Ворсинки тощей кишки в этот срок имели вид небольших пальцевидных выпячиваний, покрытых микроворсинчатыми эпителиоцитами невысокой призматической формы. Их щёточная каёмка при световой микроскопии проявлялась в виде тонкой, отчётливо просматриваемой в апикальном отделе эпителиоцитов ярко оксифильной полоски (рис. 1-А). Микроворсинки её имели вид ровных, тонких, плотно расположенных выпячиваний цитоплазмы с хорошо просматриваемой плазмолеммой и чётко выделяющимся на её поверхности гликокаликсом (рис. 1-Б).

Под микроворсинками в цитоплазме эпителиоцитов располагалось обилие эндоземкикул, коротких цистерн гранулярной эндоплазматической сети, обилие свободных рибосом, полисом и митохондрий (рис. 1-Б, В). Последние отличались незначительным полиморфизмом с чётко просматриваемыми многочисленными упорядоченно расположенными кристами и светлым митохондриальным матриксом. Морфометрическая характеристика митохондрий представлена в таблице 2. В апикальном отделе эпителиоцитов между митохондриями встречались

немногочисленные (6-8) первичные лизосомы, имеющие разные размеры. Изредка встречались аутофагосомы.



**Рисунок 1.** – Микроскопическая и электронно-микроскопическая структура микроворсинчатых эпителиоцитов тощей кишки 15-суточных крыс

Общий вид микроворсинчатых эпителиоцитов, окрашка гематоксилином и эозином, ув. 1000 (А); ультраструктурная организация щётчатой каёмки, ув. 20000 (Б) и митохондрий апикального отдела цитоплазмы эпителиоцитов, ув. 30000 (В)

В базальном отделе эпителиоцитов располагалась умеренно развитая эндоплазматическая сеть гранулярного и агранулярного типа. Цистерны сети хорошо проявлялись и в некоторых местах могли быть незначительно расширенными. Между мембранами сети и в базальной части клетки встречались митохондрии, которые, как

**Таблица 2.** – Показатели количества, размеров и форм митохондрий в эпителиоцитах ворсинок тощей кишки крыс разных возрастов (Me (IQR))

Показатели	15-е сутки	45-е сутки	90-е сутки
Количество, шт/100 мкм <sup>2</sup> цитоплазмы	73,44 (15,63)	59,38 (10,94)	73,44 (7,81) <sup>+</sup>
Площадь, мкм <sup>2</sup>	0,21 (0,20)	0,22 (0,08)	0,20 (0,03) <sup>+</sup>
Периметр, мкм	1,82 (0,89)	1,85 (0,46)	1,71 (0,06) <sup>+</sup>
Относительная площадь, мкм <sup>2</sup> /100 мкм <sup>2</sup> цитоплазмы	0,66 (0,61)	0,70 (0,24)	0,61 (0,08) <sup>+</sup>
Фактор формы	0,75 (0,07)	0,81 (0,03) <sup>*</sup>	0,77 (0,01) <sup>+</sup>
Фактор элонгации	1,63 (0,18)	1,58 (0,19)	1,80 (0,03) <sup>+</sup>

Примечание – \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$  при сравнении 15 и 45-х суток; + –  $p < 0,05$  при сравнении 45 и 90-х суток

правило, имели небольшие размеры, и с упорядоченными кристами. Свободные рибосомы встречались в большом количестве, иногда образовывали полисомы.

Ядра эпителиоцитов овальной формы с чётко проявляемой структурой располагались весьма компактно, на одном уровне и ближе к базальному полюсу (рисунок 1-А). Хроматин ядер мелкоглыбчатый, равномерно распределённый в кариоплазме. В ядерной оболочке обнаруживалось до 10-20 ядерных пор. Хорошо просматривались 1-2 ядрышка, находящиеся, как правило, эксцентрично, с чётко выделяемыми гранулярным и фибриллярным компонентами. Поверхность ядер неровная, образовывала небольшие инвагинации. Перинуклеарные пространства ядерной оболочки узкие. Замечено, что эпителиоциты и их ядра в направлении верхушек ворсинок уменьшались в размере, подвергались микровакуолизации, пикнозу, их тинкториальные свойства снижались, что свидетельствует о физиологическом обновлении эпителия.

Боковая плазмолемма эпителиоцитов ворсинок образовывала немногочисленные инвагинации, глубоко вдающиеся в соседние клетки, образуя прочную связь. Межклеточные пространства в эпителии узкие, этому способствовало большое количество десмосом и замыкающих контактов в апикальном отделе между эпителиоцитами. Изредка между базальными отделами эпителиоцитов встречались лимфоциты. Они отличались светлой электронно-плотной цитоплазмой, умеренным количеством митохондрий, округлым ядром. Ядерная оболочка образовывала мелкие инвагинации. Хроматин крупноглыбчатый с периферической локализацией в кариоплазме. Между эпителиоцитами ворсинок в небольшом количестве встречались бокаловидные клетки (табл. 1).

В строме ворсинок, представленной рыхлой неоформленной соединительной тканью, преобладали клетки фибробластического ряда, в небольшом количестве лимфоциты, единич-

ные макрофаги, эозинофилы и тучные клетки, в основном умеренно и полностью дегранулированных форм (табл. 3). Под базальной мембраной эпителия наблюдалось обилие гемокapилляров с обычным просветом (табл. 1). В цитоплазме их эндотелиоцитов обнаруживались микропузырьки.

Таблица 3. – Морфометрические показатели тучных клеток (ТК) в слизистой оболочке тощей кишки 15, 45 и 90-суточных крыс (M±m)

Структуры органа	Сутки животных	Количество ТК	Типологический профиль ТК			Грануляционный индекс ТК	Индекс насыщения ТК
			Дегранулированные (1-я группа)	Умеренно дегранулированные (2-я группа)	Депонирующие (3-я группа)		
Строма ворсинок	15-е	0,53± 0,22	0,29± 0,12	0,16± 0,06	0,08± 0,06	0,84± 0,37	1,56± 0,34
	45-е	3,96± 0,44**	1,71± 0,16**	1,79± 0,21**	0,45± 0,10**	6,64± 0,80**	1,66± 0,03
	90-е	7,80± 0,64**	2,98± 0,25**	3,75± 0,36**	1,06± 0,15**	13,66± 1,23**	1,75± 0,04*
Межкриптные прослойки	15-е	2,45± 0,75	0,93± 0,34	1,23± 0,30	0,30± 0,14	4,28± 1,31	1,79± 0,05
	45-е	26,40± 0,86**	7,98± 0,84**	14,20± 0,68**	4,23± 0,35**	49,05± 1,86**	1,86± 0,04
	90-е	36,95± 1,64**	12,70± 0,63**	19,33± 0,95**	4,93± 0,43**	66,13± 3,21**	1,79± 0,02
Подслизистая основа	15-е	0,10± 0,04	0,05± 0,03	0,08± 0,04	0	0,20± 0,08	1,00± 0,42
	45-е	5,25± 0,46**	1,53± 0,15**	2,53± 0,22**	1,20± 0,25**	10,18± 1,11**	1,92± 0,07
	90-е	6,95± 0,84	2,20± 0,30	3,23± 0,40	1,53± 0,39	13,23± 1,89	1,87± 0,07

Примечание - \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$  при сравнении 15 и 45-х суток; + –  $p < 0,05$ , ++ –  $p < 0,01$  при сравнении 45 и 90-х суток

Крипты развиты, имели вид коротких, рыхло, иногда неупорядоченно расположенных узких трубочек (табл. 1). Выстилающие их эпителиоциты ниже таковых ворсинок, тесно прилегали друг к другу. Их цитоплазма отличалась более выраженной базофилией, а щётчатая каёмка тоньше таковой в эпителиоцитах ворсинок и при световой микроскопии просматривалась с трудом. Цитоплазма эпителиоцитов крипт отличалась немногочисленностью митохондрий и обилием полирибосом. Ядра эпителиоцитов крипт в основном овально-округлых форм, расположены близко друг к другу, образуя в эпите-

лии своеобразный конгломерат. Структура ядер просматривалась чётко. Ядрышки имели разные размеры, преимущественно центральное расположение, их структурные компоненты неотчётливы. Среди эпителиоцитов реже, чем в ворсинках, встречались бокаловидные клетки (табл. 1). Их апикальные отделы перегружены секреторными гранулами с наличием низкого по электронной плотности содержимого. Количество митотически делящихся форм среди эпителиоцитов составляло 23,0% (табл. 1). В области донышек крипт встречались клетки Панета, которые, как и их ядра, крупнее, чем микроворсинчатые эпителиоциты, но с неотчётливой структурой и слабо выраженной базофилией цитоплазмы. Межкриптные прослойки соединительной ткани слабо развиты, но более богаты клеточными элементами, свойственными данному виду ткани. Мышечная пластинка слизистой оболочки окончательно ещё не сформирована и просматривалась с трудом. Мышечная оболочка тощей кишки хорошо выделялась, её внутренний слой толще наружного (табл. 1). Серозная оболочка тонкая.

Активность ферментов СДГ, НАДН ДГ и ЛДГ в эпителиоцитах ворсинок и крипт, несмотря на ранний возраст, довольно значительная, распределялась полярно: наиболее высокая – в апикальном отделе цитоплазмы. Продукты реакции в виде формазана многочисленны, мелкозернистого характера, тёмно-синей окраски. При этом активность ферментов в эпителиоцитах ворсинок более высокая, нежели в таковых крипт. Однако содержание в последних РНК значительно выше, чем в эпителиоцитах ворсинок (табл. 4). В щётчатой каёмке эпителиоцитов ворсинок выявлялась высокая активность ЩФ. В миоцитах мышечной оболочки активность ферментов слабая, а в нейронах ганглиев подслизистого

и межмышечного нервных сплетений – высокая. Содержание гликопротеинов в бокаловидных клетках ворсинок и крипт тощей кишки умеренное и незначительное в поверхностном слое слизи. Сиаломуцины чаще проявлялись в плёнке слизи, расположенной в нижней трети ворсинок, и незначительно – в бокаловидных клетках. Сульфомуцины обнаруживались в основном в гранулах тучных клеток (табл. 3).

На 45-е сутки постнатального развития толщина стенки тощей кишки, как и её оболочек, в сравнении с 15-ми сутками значительно возрастает (табл. 1). Увеличились высота микровор-

синчатых эпителиоцитов ворсинок, толщина их щёточной каёмки и размеры ядер (табл. 1; рис. 2). Значительно возростала складчатость латеральной плазмолеммы эпителиоцитов.

**Таблица 4.** – Активность ферментов и содержание РНП в эпителиоцитах ворсинок и крипт тощей кишки 15, 45 и 90-суточных крыс, по данным цитофотометрии (в ед. опт. пл.), Me (IQR)

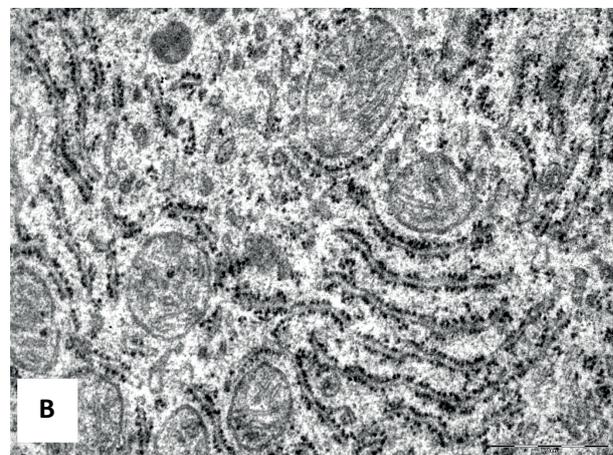
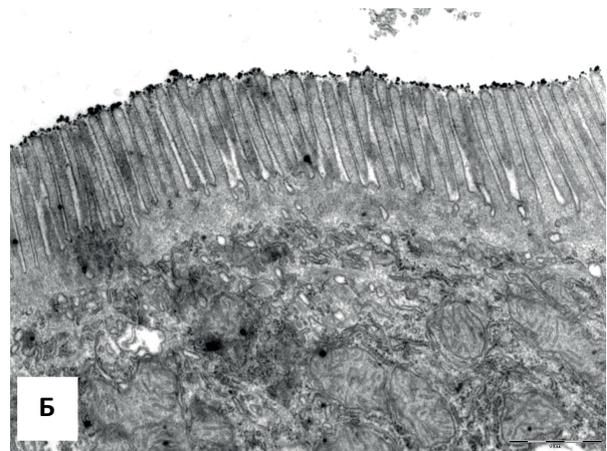
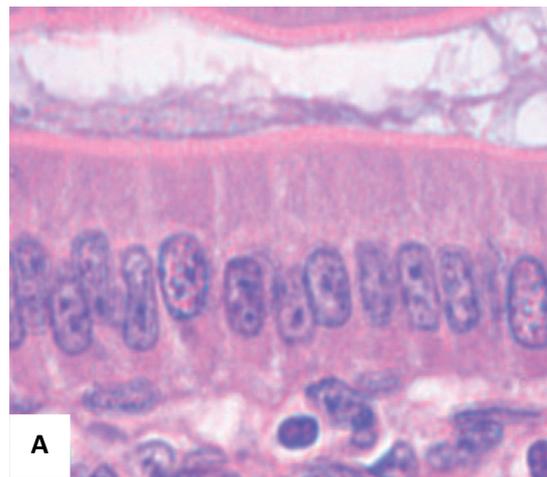
	15-е сутки	45-е сутки	90-е сутки
Эпителиоциты ворсинок			
СДГ	0,32±0,04	0,33±0,06	0,34±0,01
НАДН ДГ	0,28±0,07	0,31±0,05	0,39±0,08 <sup>+</sup>
ЛДГ	0,24±0,10	0,37±0,08**	0,35±0,09
КФ	0,20±0,07	0,49±0,09**	0,42±0,29
РНП	0,11±0,04	0,19±0,02**	0,16±0,03 <sup>+</sup>
Эпителиоциты крипт			
СДГ	0,22±0,09	0,25±0,07	0,22±0,01
НАДН ДГ	0,12±0,05	0,15±0,08	0,17±0,05
ЛДГ	0,10±0,06	0,20±0,06**	0,23±0,05
РНП	0,43±0,10	0,36±0,06**	0,31±0,04 <sup>++</sup>

Примечание – \* –  $p < 0,05$ , \*\* –  $p < 0,01$  при сравнении 15 и 45-х суток; + –  $p < 0,05$ , ++ –  $p < 0,01$  при сравнении 45 и 90-х суток

Цитоплазма в апикальном отделе эпителиоцитов ворсинок становилась более оксифильной с чётко просматриваемой щёточной каёмкой (рис. 2-А). Микроворсинки ее каёмки становились более длинными, нежели у 15-суточных крыс (рис. 2-Б). На поверхности микроворсинок обнаруживался гликокаликс, в котором адсорбировался контрастёр. Под микроворсинками, как и у 15-суточных крыс, располагались многочисленные эндозекулы. В апикальном отделе эпителиоцитов располагались в большом количестве митохондрии, имеющие овальную или удлинённую форму и содержащие умеренное количество упорядоченно расположенных крист. Но морфометрически показатели митохондрий в целом существенно не отличались от таковых у 15-суточных крыс (табл. 2).

Между митохондриями в цитоплазме эпителиоцитов располагалась хорошо развитая гранулярная эндоплазматическая сеть (рис. 2-В), а свободных рибосом становилось несколько меньше, чем у 15-суточных животных. В апикальном отделе эпителиоцитов чётко просматривался комплекс Гольджи, представляющий собой, как и у 15-суточных животных, стопку упакованных мембран и микровезикул. Ядра эпителиоцитов удлиненной формы, продолжали располагаться ближе к базальному полюсу на одном уровне, отличались большими размерами, чем у 15-суточных крыс (табл. 1; рис. 1-Б). В ядрах хроматин, как правило, мелкоглыбчатый и зачастую – с равномерным распределением в кариоплазме. В области гетерохроматина отчётливо просматривались ядерные поры. Ядрышки располагались так же, как и в предыдущем сроке, эксцентрично, с чётко различимыми гранулярным и фибриллярным компонентами.

Возрастало среди эпителиоцитов ворсинок, в сравнении с 15-суточными животными, количе-



**Рисунок 2.** – Общий вид эпителиоцитов и их фрагментов тощей кишки 45-суточных крыс

Общий вид микроворсинчатого эпителия, окраска гематоксилином и эозином, ув. 1000 (А); ультраструктура щёточной каёмки, ув. 20000 (Б) и гранулярная эндоплазматическая сеть эпителиоцитов, ув. 50000 (В)

ство бокаловидных клеток (табл. 1). Их апикальный отдел зачастую перегружен секретом. Чаше между эпителиоцитами в базальном отделе и под их базальной мембраной встречались лимфоциты. В строме ворсинок заметно увеличилось число тучных клеток и их умеренно и полностью дегранулированных форм (табл. 3), которые, как

правило, располагались вблизи подэпителиальных кровеносных капилляров. Однако ширина их просвета, по данным морфометрии, существенно не менялась (табл. 1).

Крипты в этот возрастной период заметно удлинялись, приобретали вид длинных и компактно расположенных трубочек, окружённых тонкими прослойками рыхлой соединительной ткани (табл. 1). Высота эпителиоцитов крипт, как и размеры их ядер, больше, нежели таковые у 15-суточных животных, но меньше таковых в ворсинках (табл. 1). Щёточная каёмка при световой микроскопии продолжала просматриваться с трудом, но при электронном микроскопировании чётко виднелись микроворсинки, имеющие вид небольших ровных пальцевидных выпячиваний. Ядра в эпителиоцитах крипт располагались компактно, преимущественно у базального полюса эпителиоцитов. Возрастало среди эпителиоцитов крипт, в сравнении с предыдущим сроком, число митотически делящихся форм и бокаловидных клеток (табл. 1). Более развитыми становились мышечная пластинка слизистой и мышечная оболочка (табл. 1).

Активность ферментов в микроворсинчатых эпителиоцитах ворсинок и крипт возрастала незначительно по сравнению с 15-суточными животными, – свидетельство того, что данные клетки уже на 15-е сутки обладают высокой функциональной активностью. Продукты реакции сохраняли прежнюю локализацию, мелкогранулярный характер и окраску. Содержание же РНП в эпителиоцитах крипт снижалось (табл. 4). Активность щелочной фосфатазы в щёточной каёмке эпителиоцитов несколько увеличивалась, но характер распределения в ней продуктов реакции оставался прежним.

Значительно возрастало (в сравнении с 15-суточными животными) в бокаловидных клетках и в поверхностной слизи ворсинок и крипт содержание гликопротеинов. Аналогично менялось и содержание сиаломуцинов. Сульфомуцины в виде следов выявлялись в бокаловидных клетках и поверхностной слизи. Преимущественно эти биополимеры определялись в гранулах тучных клеток. Количество последних заметно возросло по сравнению с 15-ми сутками, особенно в межкриптных пространствах (с 2,45 клетки до 26,40). Среди тучных клеток возрастало число умеренно и полностью дегранулированных форм (табл. 3). Это способствовало расширению просвета кровеносных капилляров в межкриптной строме (табл. 1). Резко возрастал и грануляционный индекс, что свидетельствует об увеличении в тучных клетках содержания биологиче-

ски активных веществ, в частности гистамина.

У 90-суточных крыс структурная организация тощей кишки существенно не отличалась от таковой у 45-суточных животных (табл. 1), последнее указывает на то, что структурные компоненты тощей кишки в основном интенсивно формируются до 45-суточного возраста, а это, вероятно, обусловлено переходом животных с молочного типа кормления на дефинитивный. Не выявлено существенных различий, исходя из данных цитофотометрических исследований, и в активности ферментов и содержании РНП в эпителиоцитах ворсинок и крипт (табл. 4). Сохранялась в них и полярность распределения продуктов реакций. Не изменялось в бокаловидных клетках, в сравнении с предыдущим сроком, содержание гликопротеинов и сиаломуцинов. Сульфомуцины, как и в предыдущем сроке исследования, выявлялись в виде следов в поверхностной слизи и в гранулах тучных клеток. Число последних продолжало расти в соединительнотканной строме ворсинок и межкриптных пространств. Увеличивался и грануляционный индекс тучных клеток (табл. 3).

### Выводы

В результате проведенного исследования установлено, что структурная организация тощей кишки после рождения интенсивно развивается и совершенствуется. Особенно это интенсивно происходит в ранние сроки постнатального онтогенеза: увеличиваются размеры ворсинок и крипт, возрастает число выстилающих их эпителиоцитов, утолщается мышечная оболочка. Всё это обусловлено развитием адаптационного механизма к возрастающей нагрузке в процессе пищеварения и всасывания нутриентов при переходе с молочного типа питания на дефинитивный. При этом необходимо отметить, что наиболее интенсивно развивается микроворсинчатый эпителий: уже к 15-м суткам эпителиоциты обладают хорошо развитой щёточной каёмкой с высокой активностью в ней щелочной фосфатазы; развитым митохондриальным аппаратом и высокой активностью в цитоплазме СДГ, НАДН-ДГ и ЛДГ. Данные показатели не претерпевают существенных изменений с возрастом. Такой структурно-цитохимический характер эпителиоцитов обеспечивает сразу после рождения высокий уровень пристеночного пищеварения, всасывание образующихся при этом мономеров. В этих сложных биологических процессах важную роль играют тучные клетки, количество и активность которых особенно увеличивается к 45-суточному возрасту животных.

### Литература

1. Шешукова, Т. А. Морфологическая адаптация кишечника / Т. А. Шешукова // Успехи современной биологии. – 1988. – № 2. – С. 306-318.
2. Всасывание и секреция в тонкой кишке (субмикроскопические аспекты) : монография / И. А. Морозов [и др.]. – Москва : Медицина, 1988. – 224 с.
3. Heterogeneity across the murine small and large intestine / R. Bowcutt [et al.] // World J. Gastroenterol. – 2014. – Т. 20,

№ 41. – P. 15216-15232. – doi: 10.3748/wjg.v20.i41.15216.

4. Sustained and selective suppression of intestinal cholesterol synthesis by Ro 48-8071, an inhibitor of 2,3-oxidosqualene: lanosterol cyclase, in the BALB/c mouse / J. C. Chuang [et al.] // Biochem. Pharmacol. – 2014. – Vol. 88, iss. 3. – P. 351-363. – doi: 10.1016/j.bcp.2014.01.031.

5. Кушак, Р. И. Пищеварительно-транспортная система энтероцитов / Р. И. Кушак. – Рига : Зинатне, 1983. – 304 с.

6. Лысиков, Ю. А. Фундаментальные механизмы пище-

варения / Ю. А. Лысиков // Медицинский алфавит. – 2015 – Т. 3, № 16. – С. 17-27.

7. Физиология человека / под ред. Р. Шмидта, Г. Тевса. – Москва : Мир, 1996. – 312 с.

8. Функциональная диагностика в гастроэнтерологии : учебно-методическое пособие / О. А. Саблин [и др.]. – Санкт-Петербург : РВМА, 2002. – 88 с.

9. Лабораторные животные. Разведение, содержание, использование в эксперименте / И. П. Западнюк [и др.]. – Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 383 с.

10. Копаладзе, Р. А. Регламентация экспериментов на животных – этика, законодательства, альтернативы : обзор / Р. А. Копаладзе ; под ред. Н. А. Горбуновой. – Москва, 1998. – 341 с.

11. Пирс, Э. Гистохимия: теоретическая и прикладная / Э. Пирс. – Москва : Изд-во иностр. лит., 1962. – 962 с.

12. Millonig, G. A. Advantages of a phosphate buffer for osmium tetroxide solutions in fixation / G. A. Millonig // J. Appl. Physics. – 1961. – Vol. 32. – P. 1637-1643.

13. Trump, B. F. New ultrastructural characteristics of cells fixed in a glutaraldehyde-osmium tetroxide mixture / B. F. Trump, R. E. Bulger // Lab. Invest. – 1966. – Vol. 15, iss. 1. – P. 368-379.

14. Watson, M. L. Staining of tissue sections for electron microscopy with heavy metals / M. L. Watson // J. Biophys. Biochem. Cyt. – 1958. – Vol. 4, iss. 4. – P. 475-478.

15. Reynolds, E. S. The use of lead citrate at high pH as an electronopaque stain in electron microscopy / E. S. Reynolds // J. Cell. Biol. – 1963. – Vol. 17, № 1. – P. 208-212.

### References

1. Sheshukova TA. Morfologicheskaja adaptacija kishhechnika [Morphological adaptation of the intestine]. *Uspehi sovremennoj biologii* [Advances in modern biology]. 1988;2:306-318. (Russian).

2. Morozov IA, Lysakov JuA, Pitran BV, Hvylyja SI. Vsasyvanie i sekrecija v tonkoj kishke (submikroskopicheskie aspekty) [Suction and secretion in the small intestine (submicroscopic aspects)]. Moskva: Medicina; 1988. 224 p. (Russian).

3. Bowcutt R, Forman R, Glymenaki M, Carding SR, Else KJ, Cruickshank SM. Heterogeneity across the murine small and large intestine. *World J Gastroenterol*. 2014;20(41):15216-15232. doi: 10.3748/wjg.v20.i41.15216.

4. Chuang JC, Valasek MA, Lopez AM, Posey KS, Repa JJ, Turley SD. Sustained and selective suppression of intestinal cholesterol synthesis by Ro 48-8071, an inhibitor of 2,3-oxidosqualene: lanosterol cyclase, in the BALB/c mouse. *Biochem. Pharmacol*. 2014;88(3):351-363. doi: 10.1016/j.bcp.2014.01.031.

5. Kushak RI. Pishhevaritelno-transportnaja sistema jenterocitov [Digestive-transport system of enterocytes]. Riga: Zinatne; 1983. 304 p. (Russian).

6. Lysikov JuA. Fundamentalnye mehanizmy pishhevarenija [Fundamental mechanisms of digestion]. *Medicinskij alfavit*. [Medical alphabet]. 2015;3(16):17-27. (Russian).

7. Shmidta R, Tevsa G. Fiziologija cheloveka [Human physiology]. Moskva: Mir; 1996. 312 p. (Russian).

8. Sablin OA, Grinevich VB, Uspenskij JuP, Ratnikov VA. Funkcionalnaja diagnostika v gastrojenterologii [Functional diagnostics in gastroenterology]. Sankt-Peterburg: RVMA; 2002. 88 p. (Russian).

9. Zapadnjuk IP, Zapadnjuk VI, Zaharija EA, Zapadnjuk BV. Laboratornye zhivotnye. Razvedenie, sodержание, ispolzovanie v jeksperimente [Laboratory animals. Dilution, content, use in experiment]. Kiev: Vishh Shkola. Golovnoe izdatelstvo; 1983. 383 p. (Russian).

10. Kopaladze RA; Gorbunova NA, editor. Reglamentacija jeksperimentov na zhivotnyh – jetika, zakonodatelstva, alternativy [Regulation of animal experiments – ethics, legislation, alternatives]. Moskva; 1998. 341 p. (Russian).

11. Pirs Je. Gistohimija: teoreticheskaja i prikladnaja. Moskva: Izdatelstvo inostrannoju literatury; 1962. 962 p. (Russian).

12. Millonig GA. Advantages of a phosphate buffer for osmium tetroxide solutions in fixation. *J. Appl. Rhyisics*. 1961;32:1637-1643.

13. Trump BF, Bulger RE. New ultrastructural characteristics of cells fixed in a glutaraldehyde-osmium tetroxide mixture. *Lab. Invest*. 1966;15(1):368-379.

14. Watson ML. Staining of tissue sections for electron microscopy with heavy metals. *J. Biophys. Biochem. Cyt*. 1958;4(4):475-478.

15. Reynolds ES. The use of lead citrate at high pH as an electronopaque stain in electron microscopy. *J. Cell. Biol*. 1963;17(1):208-212.

## AGE DYNAMICS OF STRUCTURAL AND CYTOCHEMICAL INDICATORS OF THE JEJUNUM OF RATS

Voronik Yu. N., Matsyuk Ya. R.

Educational Institution "Grodno State Medical University", Grodno, Belarus

*Background.* The functions of the jejunum are diverse, but all of them to some extent ensure the implementation of the two leading processes in the body: hydrolysis of nutrients that have been taken and their absorption.

*Objective:* to study, in normal conditions, the features of the age-related formation of structural and cytochemical indices of the jejunum of rats in postnatal ontogenesis.

*Material and methods.* The experiment was performed on 35 rats of 15-, 45- and 90-day old age. A complex of histological, histochemical, electron microscopic methods was used with subsequent morphometric and statistical analysis.

*Results.* It was established that the structural organization of the jejunum develops intensively from the 15th to the 45th day, which is probably due to the transition from dairy to definitive type of nutrition.

*Conclusions.* The microvillous epithelium is already completely formed by the 15th day and has a high structural and cytochemical organization providing an intensive level of parietal digestion right after birth and absorption of the monomers that form.

**Keywords:** jejunum, offspring.

Поступила: 05.10.2017

Отрецензирована: 18.12.2017