

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ,
ТРАНСПОРТНОЙ И ЭНЕРГООБЕСПЕЧИВАЮЩИХ СИСТЕМ ПО ДЛИНЕ
ТОНКОЙ КИШКИ У РАСТУЩИХ, ВЗРОСЛЫХ И СТАРЫХ КРЫС**

С. Т. Усанова

А. Б. Ниязметов,

А. А. Турсунова

Частный Университет Альфраганус, Национальный Университет
Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Ташкент

Аннотация

Представлены данные о пространственном распределении гидролитической, транспортной и энергообеспечивающих систем по длине тонкой кишки у растущих, взрослых и старых крыс. Установлено, что у растущих крыс наблюдается высокая активность всех систем в проксимальном сегменте, что связано с интенсивным ростом и развитием, а у взрослых крыс распределение активности гидролитической, транспортной и энергообеспечивающих систем является наиболее равномерным. И наконец, у старых крыс происходит возрастное снижение активности всех систем, что наиболее выражено в дистальном сегменте тонкой кишки.

Ключевые слова: гидролитические ферменты, обмен веществ, транспорт питательных веществ, тонкая кишка, крысы, митохондриальные ферменты, глюкоза.

Introduction

Введение

Тонкая кишка является важной частью пищеварительной системы, обеспечивающей гидролиз питательных веществ, их транспорт и энергетическое обеспечение процессов усвоения. Основная функция тонкого кишечника — расщепление пищи, всасывание питательных веществ, необходимых организму, и выведение ненужных компонентов. Этот желудочно-кишечный сегмент также участвует в иммунных функциях, выступая в качестве барьера для интралюминальных (внутрипросветных) бактерий. Тонкий кишечник также играет эндокринную роль, вырабатывая пищеварительные и регулирующие энергию гормоны, такие как холецистокинин, секретин, желудочный ингибирующий пептид и глюкагон подобный пептид-1 [1, 2, 3]. Эта пищеварительная трубка имеет среднюю длину от 3 до 5 метров, простираясь между привратником желудка и илеоцекальным соединением [4]. Функциональная активность тонкой кишки изменяется в зависимости от возраста организма, что связано с физиологическими, метаболическими и морфологическими изменениями [5-7]. Однако вопрос о пространственном распределении гидролитической, транспортной и энергообеспечивающих систем остается недостаточно изученным. Поэтому целью нашего исследования являлась анализ пространственного распределения гидролитической, транспортной и энергообеспечивающих систем по длине тонкой кишки у крыс в разные возрастные периоды: растущие, взрослые и старые особи.

Материалы и методы

Для изучения пространственного распределения гидролитической, транспортной и энергообеспечивающих систем в тонкой кишке у крыс разного возраста был применен комплексный экспериментальный подход. Исследование охватывало отбор животных, их содержание, забор материала и проведение биохимического анализа.

Белые крысы-самцы были разделены на три возрастные группы. В первую группу входили растущие крысы с массой тела 60 ± 15 г (возраст 3–4 недели). Во вторую группу включали взрослых животных с массой 200 ± 20 г (возраст 5–6 месяцев). В третью группу вошли старые крысы массой 400 ± 50 г (возраст 18–20 месяцев). Все животные были предварительно осмотрены и отобраны как здоровые особи без видимых патологий.

Крысы содержались в деревянных клетках размером 50×30 см, по 8–10 животных в каждой клетке. Помещения были светлыми, хорошо вентилируемыми, с естественным чередованием дня и ночи. Животные получали смешанный рацион, включавший хлеб, ливерную колбасу, молоко, пшено, овес, дрожжи, морковь, хлопковое масло и поваренную соль. Питание и вода предоставлялись без ограничений для минимизации стресса.

Для проведения экспериментов животных подвергали гуманной эвтаназии с использованием анестезии и с соблюдением принципов биоэтики. Тонкая кишка извлекалась и разделялась на три сегмента: проксимальный (начальная часть), средний (центральная часть) и дистальный (конечная часть). Каждый сегмент промывался изотоническим раствором для удаления содержимого и использовался для биохимических анализов.

Гидролитическая активность оценивалась по активности ферментов амилазы, липазы и протеаз. Для этого кишечные ткани гомогенизировали в буферном растворе с pH 7.4. Полученный гомогенат центрифугировали при 10 000 об/мин в течение 15 минут, а супернатант использовался для анализа. Амилаза определялась по гидролизу крахмала, липаза — по образованию жирных кислот из триглицеридов, протеаза — по гидролизу белковых субстратов, таких как казеин. Результаты выражались в единицах ферментативной активности на 1 мг белка.

Транспортные системы изучались путем определения активности мембранных белков, ответственных за транспорт глюкозы и аминокислот. Для этого из тканей кишечника выделялись мембранные фракции методом дифференциального центрифугирования. Активность транспортных белков измерялась с использованием радиоактивно меченых субстратов или спектрофотометрических методов.

Энергообеспечивающие системы анализировались по активности митохондриальных ферментов, таких как сукцинатдегидрогеназа (SDH) и цитохромоксидаза (COX). Митохондриальные фракции выделяли из тканей каждого сегмента тонкой кишки. Активность SDH определялась по восстановлению 2,6-дихлорфенолиндофенола (ДФИФ), а активность COX — по скорости окисления цитохрома C. Результаты выражались в наномолях субстрата, преобразованных ферментом за минуту на 1 мг белка.

Для обработки данных использовались статистические методы. Вычислялись средние значения (M) и стандартные отклонения (SD). Для сравнения между группами применялся

дисперсионный анализ (ANOVA) с пост-хок тестами, такими как тест Тьюки. Уровень статистической значимости принимался равным $p < 0.05$.

Данный подход позволил получить полную картину возрастных изменений активности гидролитических, транспортных и энергообеспечивающих систем в тонкой кишке. Методы обеспечивали высокую точность и воспроизводимость результатов.

Результаты и обсуждение

В ходе эксперимента были изучены возрастные изменения гидролитической, транспортной и энергообеспечивающих систем по длине тонкой кишки у растущих, взрослых и старых крыс. Полученные данные показали значительные различия в активности ферментов, транспортных белков и митохондриальных ферментов в зависимости от возраста и сегмента тонкой кишки.

У растущих крыс наблюдалась высокая активность ферментов (амилазы, липазы, протеаз) в проксимальном сегменте тонкой кишки. Это связано с их потребностью в интенсивном усвоении питательных веществ для роста и развития. У взрослых крыс гидролитическая активность была равномерной по всем сегментам кишки, что отражает стабильность процессов пищеварения. У старых крыс активность гидролитических ферментов снижалась, особенно в дистальном сегменте, что связано с возрастными изменениями слизистой оболочки (1-табл.).

У растущих крыс транспорт глюкозы и аминокислот был наиболее активным в проксимальном сегменте, что обеспечивало эффективное усвоение питательных веществ. У взрослых крыс транспортная активность сохранялась на стабильном уровне по всей длине тонкой кишки. У старых крыс отмечалось снижение транспортной активности, особенно в средней и дистальной частях кишки, что указывает на ухудшение функциональности мембранных белков. У растущих крыс активность митохондриальных ферментов (сукцинатдегидрогеназы и цитохромоксидазы) была максимальной в проксимальном сегменте, что соответствовало высоким энергетическим затратам на процессы гидролиза и транспорта. У взрослых крыс активность ферментов оставалась стабильной по всем сегментам кишки. У старых крыс наблюдалось снижение активности энергообеспечивающих ферментов, особенно в дистальном сегменте, что связано с возрастным снижением функциональности митохондрий.

Таблица-1 Активность систем в разных сегментах тонкой кишки у крыс

Система/Фермент	Возраст	Проксимальный сегмент	Средний сегмент	Дистальный сегмент
Амилаза (ед/мг белка)	Растущие	12.5 ± 0.8	9.3 ± 0.6	7.1 ± 0.5
	Взрослые	10.2 ± 0.7	9.8 ± 0.6	9.1 ± 0.5
	Старые	8.1 ± 0.5	6.7 ± 0.4	5.3 ± 0.3
Липаза (ед/мг белка)	Растущие	15.3 ± 1.0	12.1 ± 0.8	8.9 ± 0.7
	Взрослые	13.0 ± 0.9	12.7 ± 0.8	11.5 ± 0.7
	Старые	9.4 ± 0.7	7.8 ± 0.6	5.9 ± 0.5
Сукцинатдегидрогеназа (нмоль/мин/мг белка)	Растущие	18.7 ± 1.2	14.5 ± 0.9	10.4 ± 0.8
	Взрослые	16.3 ± 1.1	15.9 ± 1.0	14.8 ± 0.9
	Старые	11.8 ± 0.9	9.1 ± 0.7	6.5 ± 0.6
Цитохромоксидаза (нмоль/мин/мг белка)	Растущие	22.1 ± 1.4	18.3 ± 1.2	12.9 ± 1.0
	Взрослые	20.5 ± 1.3	19.7 ± 1.2	18.8 ± 1.1
	Старые	14.2 ± 1.0	11.5 ± 0.8	8.6 ± 0.7

Результаты исследования показали, что гидролитическая, транспортная и энергообеспечивающие системы тонкой кишки изменяются с возрастом. У растущих крыс наблюдается высокая активность на начальных участках кишки, что связано с их интенсивным ростом и метаболизмом. У взрослых животных функции систем стабилизированы, а у старых – снижаются, особенно в дистальных сегментах, что может быть связано с возрастной дегенерацией слизистой оболочки и митохондриальной дисфункцией.

Эти данные подтверждают, что возрастные изменения в тонкой кишке влияют на способность организма усваивать питательные вещества, что должно учитываться при разработке диетологических рекомендаций для разных возрастных групп.

Выводы

Пространственное распределение гидролитической, транспортной и энергообеспечивающих систем отличается у крыс в зависимости от их возраста. У растущих крыс наблюдается высокая активность всех систем в проксимальном сегменте, что связано с интенсивным ростом и развитием. У взрослых крыс распределение активности гидролитической, транспортной и энергообеспечивающих систем является наиболее равномерным. У старых крыс происходит возрастное снижение активности всех систем, что наиболее выражено в дистальном сегменте тонкой кишки.

Литература

1. Громова Л. В., Дмитриева Ю. В., Алексеева А. С., Багаева Т. Р., Груздков А. А. Активность кишечных пищеварительных ферментов и всасывание глюкозы у крыс при пониженном уровне глюкокортикоидов в крови // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. (Информация) Выпуск 117, № 5 2015.
2. Collins JT, Nguyen A, Badireddy M. Anatomy, Abdomen and Pelvis, Small Intestine. [Updated 2024 Apr 20]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan.
3. Liu X, Song Y, Hao P, Chen X, Zhang J, Wei Y, Xie X, Li L, Jin ZW. Delayed development of vacuoles and recanalization in the duodenum: a study in human fetuses to understand susceptibility to duodenal atresia/stenosis. *Fetal Pediatr Pathol*. 2022 Aug;41(4):568-575.
4. Guerbette T, Ciesielski V, Brien M, Catheline D, Viel R, Bostoen M, Perrin JB, Burel A, Janvier R, Rioux V, Lan A, Boudry G. Bioenergetic adaptations of small intestinal epithelial cells reduce cell differentiation enhancing intestinal permeability in obese mice. *Mol Metab*. 2025 Jan 13:102098.
5. Billat PA, Roger E, Faure S, Lagarce F. Models for drug absorption from the small intestine: where are we and where are we going? *Drug Discov Today*. 2017 May;22(5):761-775.
6. Karasov WH. Integrative physiology of transcellular and paracellular intestinal absorption. *J Exp Biol*. 2017 Jul 15;220(Pt 14):2495-2501.
7. Gubergrits NB, Linevskiy YV, Lukashevich GM, Fomenko PG, Moroz TV, Mishra T. Morphological and functional alterations of small intestine in chronic pancreatitis. *JOP*. 2012 Sep 10;13(5):519-28.