

Науковий вісник Львівського національного університету
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.

Серія: Ветеринарні науки

Scientific Messenger of Lviv National University
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.

Series: Veterinary sciences

ISSN 2518-7554 print
ISSN 2518-1327 online

doi: 10.32718/nvlvet11714
<https://nvlvet.com.ua/index.php/journal>

UDC 619:616.329:636.92

Influence of autonomous regulation type on the structure of the thoracic esophageal wall in rabbits

A. M. Tybinka^{1✉}, M. V. Zakrevska²

¹Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies, Lviv, Ukraine

²Doctor Markevych's Veterinary Clinic, Lviv, Ukraine

Article info

Received 03.01.2025

Received in revised form
03.02.2025

Accepted 04.02.2025

Stepan Gzhytskyi National
University of Veterinary Medicine
and Biotechnologies Lviv,
Pekarska Str., 50, Lviv,
79010, Ukraine.
Tel.: +38-067-353-03-20
E-mail: a.m.tybinka@gmail.com

Markevych's Veterinary Clinic,
Lysenytska Str., 2a, Lviv, 79032,
Ukraine.

Tybinka, A. M., & Zakrevska, M. V. (2025). Influence of autonomous regulation type on the structure of the thoracic esophageal wall in rabbits. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary sciences, 27(117), 100–107. doi: 10.32718/nvlvet11714

The study investigates the relationship between the structure of the thoracic esophageal wall in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) and the autonomous regulation type. Male rabbits of the Blanc de Termonde breed were divided into three groups based on electrocardiographic and variational-pulsometric examinations: sympathotonic rabbits (ST), parasympathotonic rabbits (PST), and normotonic rabbits (NT). After euthanasia, esophageal wall samples were embedded in paraffin blocks, from which histological preparations were made. Using morphometric analysis, the thickness of individual layers and their structural components was determined, along with their interrelations. Within each group, most of the studied parameters exhibited low and moderate variability. Exceptions included the serous membrane across all types of autonomous regulation and the outer longitudinal layer of the muscular membrane in PST rabbits. Overall, the muscular elements of the esophageal wall (the muscularis mucosae and layers of the muscular membrane) were the most sensitive to the typological features of autonomous tonus, since they demonstrated significant differences between groups. However, no single type of autonomous regulation exhibited a consistent superiority in all examined parameters. Sympathotonia was associated with greater thickness of the epithelium, lamina propria of the mucosa, and submucosa. Normotonia resulted in the thickest mucosa, muscularis mucosae, and the serous membrane. Parasympathotonia led to the maximum thickness in most parameters, including the entire esophageal wall, keratinized epithelial layer, the entire muscular membrane, and all three of its layers. Overall, the total esophageal wall thickness was greatest in PST rabbits ($1218.23 \pm 9.03 \mu\text{m}$). It was $108.06 \mu\text{m}$ thinner ($P < 0.05$) in ST rabbits and $164.29 \mu\text{m}$ thinner ($P < 0.05$) in NT rabbits. Correlation analysis revealed associations between various parameters within each group, with most correlations linked to the layers of the muscular membrane. The morphological characteristics studied reflect the adaptive properties of the esophageal wall in response to the features of autonomous tonus in rabbits.

Key words: sympathotonic rabbits, normotonic rabbits, parasympathotonic rabbits, esophageal mucosa, esophageal muscular membrane, esophageal serous membrane.

Вплив типу автономної регуляції на структуру стінки грудної частини стравоходу кроля

A. M. Ти́бінка^{1✉}, M. B. Закревська²

¹Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

²Ветеринарна клініка доктора Маркевича, м. Львів, Україна

Досліджено зв'язок між структурою стінки грудної частини стравоходу кролів (*Oryctolagus cuniculus*) та типом автономної регуляції. Самців породи Blanc de Termonde методами електрокардіографічного та варіаційно-пульсометричного досліджень розділили

на три групи: кролів-симпатотоніків (СТ), кролів-парасимпатотоніків (ПСТ) та кролів-нормотоніків (НТ). Після евтаназії тварин, зразки стравохідної стінки помістили в парафінові блоки, з яких виготовили гістологічні препарати. На останніх методом морфометрії визначили товщину окремих оболонок та їх структурних частин, а також встановили співвідношення між ними. У межах кожної групи тварин більшість досліджених показників характеризувалася низькою та середньою варіабельністю значень. Виняток становила серозна оболонка при всіх типах автономної регуляції та зовнішній поздовжній шар м'язової оболонки кролів-ПСТ. У цілому, м'язові елементи стравохідної стінки (м'язова пластинка слизової оболонки та окремі шари м'язової оболонки) виявилися найбільш чутливими до типологічних особливостей автономного тону, оскільки характеризувалися достовірними відмінностями між групами тварин. При цьому, не встановлено єдиного типу автономної регуляції, який би мав цілковиту перевагу у величині усіх досліджених показників. Симпатотонія обумовлювала більші значення товщини епітелію, власної пластинки слизової оболонки, підслизової основи. При нормотонії найтовстішими виявилися ціла слизова оболонка, її м'язова пластинка, серозна оболонка. Проте, найбільша кількість показників (ціла стравохідна стінка, розовий шар епітелію, ціла м'язова оболонка та кожен з її трьох шарів) досягали максимальної товщини при парасимпатотонії. Назагал, товщина всієї стінки стравоходу виявилася найбільшою у кролів-ПСТ ($1218,23 \pm 9,03$ мкм). На $108,06$ мкм ($P < 0,05$) тоншою вона була в кролів-СТ та на $164,29$ мкм ($P < 0,05$) – у кролів-НТ. Між окремими показниками кожної групи кролів виявлено кореляційні зв'язки, більшість з яких пов'язана з шарами м'язової оболонки. Досліджені морфологічні показники характеризують адаптаційні властивості стравохідної стінки відповідно до особливостей автономного тону в організмі кролів.

Ключові слова: кролі-симпатотоніки, кролі-нормотоніки, кролі-парасимпатотоніки, слизова оболонка стравоходу, м'язова оболонка стравоходу, серозна оболонка стравоходу.

Вступ

Становлення структурних характеристик окремих органів та цілого організму перебуває під контролем гуморальних чинників та нервової регуляції, зокрема автономної нервової системи. Остання здійснює як прямий вплив на органи, контролюючи їх функціональні показники, так і опосередкований – через серцево-судинну систему, регулюючи трофічні процеси в тканинах (Taylor et al., 2014). При цьому, у організмі тварини формуються певні типологічні особливості автономної регуляції (Zakrevska & Tybinka, 2019), які обумовлюють морфо-функціональні характеристики усіх систем, у тому числі і органів травлення (Leite et al., 2024). Завдяки цьому встановлюються особливості рухової активності стравоходу (Cunningham & Sawchenko, 1990; Richards & Sugarbaker, 1995) та функціональні характеристики окремих його частин (Hornby & Abrahams, 2000). У кінцевому результаті це відображається на гомеостазі всього апарату травлення та його зв'язку з іншими органами (Greenwood-Van Meerveld et al., 2017).

Важливість вивчення структури стравоходу кроля базується на його використанні в якості експериментальної моделі при вивченні впливу на організм ссавців різних хімічних речовин, таких як алкоголь (Bor & Capanoglu, 2009) та цигарковий дим (Orlando et al., 1986). Він також є маркером при дослідженні розвитку стресових реакцій (Tobey et al., 1999) та перебігу гастроєзофагеальної рефлюксної хвороби (De Hertogh et al., 2006).

Як у типового трубкоподібного органу стінка стравоходу утворена трьома оболонками, морфологія яких обумовлена покладеними на них функціями (Hussein et al., 2017). Внутрішня слизова оболонка зібрана у складки, що розпрямляються при проходженні великої кормової грудки. Формуванню складок сприяє наявність м'язової пластинки слизової оболонки. Її власна пластинка містить численні виступи, що забезпечують надійне прикріплення епітеліального шару. Останній характеризується добре вираженим зроговінням у грудній та черевній частинах органу та відсутністю такого в шийній частині, підслизова основа якої містить скупчення стравохід-

них залоз. Перистальтична функція стравоходу забезпечується м'язовою оболонкою, утвореною трьома шарами м'язових волокон, два з яких (зовнішній та внутрішній) мають поздовжню орієнтацію, а один шар (середній) – колову. Зовнішнім покривом стравоходу в грудній та черевній частинах є серозна оболонка, а в шийній частині – адвентиція (Ranjan & Das, 2016).

Дослідження лінійних розмірів та гістологічних особливостей стравоходу кроля проводилося з врахуванням вікового фактору (Selim et al., 2017), топографічної ділянки (Cipou et al., 2021) та у порівняльно-видовому аспекті (Mohammad et al., 2020). Проте, у науковій літературі не виявлено результатів, які б відображали зв'язок структури стравохідної стінки кроля з типом автономної регуляції, хоча подібний зв'язок встановлено для інших органів цієї тварини (Tybinka et al., 2022).

Мета дослідження

Мета дослідження полягала у встановленні впливу типологічних особливостей автономної регуляції на лінійні розміри окремих оболонок та цілої стінки грудного відділу стравоходу кролів.

Матеріал і методи досліджень

Для дослідження відібрали групу клінічно здорових кролів-самців (*Oryctolagus cuniculus*) породи Blanc de Termonde, віком чотири місяці та масою 3.6-3.9 кілограми. Методами електрокардіографічного та варіаційно-пульсометричного досліджень (Heart rate variability, 1996), встановили індивідуальні особливості автономної регуляції. Це дозволило розділити тварин на три групи по п'ять особин в кожній: 1) кролі-симпатотоніки (СТ) – характеризувалися домінуванням симпатичного тону; 2) кролі-парасимпатотоніки (ПСТ) – характеризувалися домінуванням парасимпатичного тону; 3) кролі-нормотоніки (НТ) – характеризувалися зрівноваженим симпатичним та парасимпатичним тону. Евтаназію тварин проводили шляхом інгаляційного передозування хлороформу. Дослідження виконували

з дотриманням етичних стандартів щодо тварин, які використовуються в експериментах (Directive 2010/63/EU, 2010). Методику досліджень затвердила Комісія з етики Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv (протокол №18 від 11.10.2023 року).

З грудної частини стравоходу виділяли фрагменти, які фіксували в розчині Буена (24 години), промивали в 70 % етанолі (24 години), зневоднювали в зростаючих концентраціях (70–96 %) етанолу, просвітлювали в ксилолі та поміщали в парафінові блоки. З останніх готували зрізи товщиною 7 мкм, які після висушування, депарафінізації (у ксилолі), регідратації (у понижуючих концентраціях етанолу (96–70 %)) та фарбування поміщали під покривне скло (Mulisch & Welsch, 2015). Загальну морфологію стравохідної стінки досліджували на зрізах зафарбованих: 1) гематоксиліном та еозином Майєра; 2) альдегід-фуксином за Габа-Дибаном. Для виявлення колагенових волокон зрізи фарбували азаном за методом Гейденгайна.

Дослідження гістологічних препаратів та їх фотофіксацію здійснювали за допомогою світлооптичного мікроскопа Leica DM-2500 з камерою Leica DFC450C та програмним забезпеченням Leica Application Suite 4.4 (Leica Microsystems GmbH, Germany). На отриманих гістологічних препаратах в абсолютних (в мм) та відносних (в %) величинах визначали товщину всієї стінки стравоходу, її оболонок та їх структурних частин (шарів). Для цього використано комп'ютерні морфометричні програми ImageTool та WCIF ImageJ (WCIF, Канада).

Середні значення дослідних груп порівнювали за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (ANOVA) з урахуванням поправки Бонферроні. При цьому визначали наступні показники: вибіркове середнє (M), стандартну похибку (SE), коефіцієнт варіації (CV). Розрахунки проведено з використанням програмного забезпечення “StatPlus 2008” (AnalystSoft Inc., США). На основі коефіцієнту кореляції Пірсона визначали зв'язок між окремими показниками в межах

кожної групи тварин. Відмінності між показниками вважали достовірними при $P < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Слизова оболонка стравоходу формувала кілька складок різного розміру, що обумовлювало значні коливання її товщини. Тому, для отримання уніфікованих результатів досліджень, всі проміри робили між складками.

Зв'язок товщини як цілої слизової оболонки, так і окремих її шарів (табл. 1, рис. 1) з типом автономної регуляції був не значним. Достовірні відмінності між групами тварин встановлено лише у товщині м'язової пластинки слизової оболонки (рис. 2), яка виявилася найтоншою у кролів-ПСТ. На 6,99 мкм товстішою вона була у симпатотоніків та на 8,50 мкм – у нормотоніків ($P < 0,05$). При цьому, на товщину цієї пластинки припадало 15,4 % товщини всієї слизової оболонки у тварин-ПСТ, 18,1 % – у симпатотоніків та 18,8 % – у нормотоніків (табл. 2). У всіх трьох груп кролів варіабельність показників мала середні значення (10–15 %). Морфологічно м'язова пластинка слизової оболонки складалася з пучків міоцитів, кількість та розміри яких мали топографічні особливості.

У кролів-НТ товщина м'язової пластинки слизової оболонки мала негативну кореляцію з товщиною колового шару м'язової оболонки ($r = -0,9107$, $p = 0,0316$) та товщиною зовнішнього поздовжнього шару м'язової оболонки ($r = -0,9946$, $p = 0,0005$).

Найменший внесок у загальну товщину слизової оболонки зробила її власна пластинка (рис. 2), сформована сполучною тканиною. У кролів-СТ її частка становила 12,8 %, у кролів-НТ – 12,6 % та в кролів-ПСТ – 13,0 %. Мінімальна різниця між групами тварин відобразилася і в абсолютній товщині цього шару. При цьому, кролі-ПСТ поступалися нормотонікам на 0,37 мкм, та симпатотонікам – на 0,75 мкм. Варіабельність показників також була низькою при всіх типах автономної регуляції і знаходилась в межах 8–10 %.

Таблиця 1

Товщина структур стінки стравоходу кроля (в абсолютних величинах)

Назва показника	Тип АР	M, мкм	SE, мкм	CV, %
Загальна товщина стінки	СТ	1110,17	9,03	1,82
	НТ	1053,94	35,39	7,51
	ПСТ	1218,23 ^{bc}	16,56	3,04
Товщина слизової оболонки	СТ	207,97	2,93	3,15
	НТ	208,36	8,18	8,78
	ПСТ	198,56	3,84	4,33
Товщина епітелію	СТ	143,87	2,32	3,60
	НТ	143,09	5,58	8,72
	ПСТ	142,20	3,38	5,32
Товщина рогового шару епітелію	СТ	63,85	1,40	4,91
	НТ	60,20	0,67	2,50
	ПСТ	64,89	2,67	9,20
Товщина власної пластинки слизової оболонки	СТ	26,54	0,99	8,38
	НТ	26,19	1,19	10,17
	ПСТ	25,79	1,08	9,34
Товщина м'язової пластинки слизової оболонки	СТ	37,57	1,63	9,69
	НТ	39,08	2,58	14,79
	ПСТ	30,58 ^c	1,42	10,40

Товщина підслизової основи	СТ	95,89	3,82	8,91
	НТ	82,19	3,44	9,37
	ПСТ	79,75 ^b	4,14	11,61
Товщина м'язової оболонки	СТ	758,80	5,28	1,56
	НТ	691,72	35,62	11,52
	ПСТ	896,46 ^{bc}	15,33	3,82
Товщина внутрішнього поздовжнього шару м'язової оболонки	СТ	228,47	14,48	14,17
	НТ	238,57	8,93	8,37
	ПСТ	336,22 ^{bc}	6,92	4,60
Товщина колового шару м'язової оболонки	СТ	417,47	10,80	5,78
	НТ	352,59	29,22	18,53
	ПСТ	443,63 ^c	7,19	3,62
Товщина зовнішнього поздовжнього шару м'язової оболонки	СТ	112,85	3,06	6,06
	НТ	100,56	6,70	14,90
	ПСТ	116,61	13,40	25,69
Товщина серозної оболонки	СТ	47,51	7,62	35,87
	НТ	71,67	19,00	59,29
	ПСТ	43,46	5,38	27,66

Примітка: АР – автономна регуляція; а – статистично достовірна різниця між групами НТ та СТ (а – $P < 0,05$); б – статистично достовірна різниця між групами ПСТ та СТ (б – $P < 0,05$); с – статистично достовірна різниця між групами ПСТ та НТ (с – $P < 0,05$)

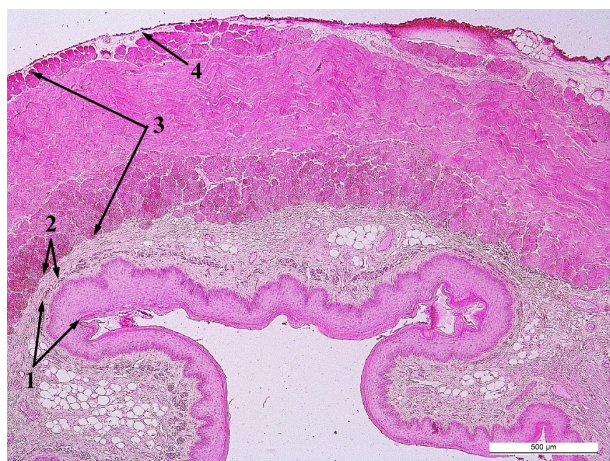


Рис. 1. Структура стінки стравоходу кроля-ПСТ: 1 – слизова оболонка; 2 – підслизова основа; 3 – м'язова оболонка; 4 – серозна оболонка. Забарвлення гематоксисиліном та еозинном

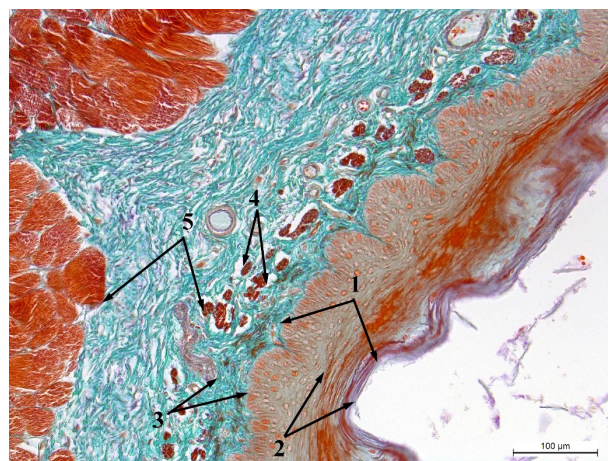


Рис. 2. Структура слизової оболонки та підслизової основи стравоходу кроля-СТ: 1 – епітелій; 2 – роговий шар епітелію; 3 – власна пластинка слизової оболонки; 4 – м'язова пластинка слизової оболонки; 5 – підслизова основа. Забарвлення альдегід-фуксином за Габа-Дибаном

Товщина власної пластинки слизової оболонки мала позитивну кореляцію з товщиною м'язової пластинки слизової оболонки у кролів-СТ ($r = 0,9963$, $p = 0,0003$) та ПСТ ($r = 0,9587$, $p = 0,0100$). У останніх подібний зв'язок встановлено і з товщиною внутрішнього поздовжнього шару м'язової оболонки ($r = 0,9219$, $p = 0,0259$).

Більшу частину товщини слизової оболонки займав епітелій (рис. 2), на який у кролів-СТ припадало 69,2 %, у нормотоніків – 68,7 % та в парасимпатотоніків – 71,6 %. За абсолютними значеннями найтонший епітелій виявлено у кролів-ПСТ. Нормотоніки переважали їх на 0,89 мкм, а симпатотоніки – на 1,67 мкм. У всіх групах тварин товщина епітелію характеризувалася високою однорідністю значень і коефіцієнт варіації мав діапазон 4–9 %.

У кролів-СТ встановлено негативну кореляцію між товщиною епітелію та товщиною серозної оболонки ($r = -0,9901$, $p = 0,0012$).

Приблизно 40 % товщини епітелію припадало на його роговий шар (рис. 2), товщину якого визначали починаючи з місця появи перших ознак зроговіння. Найтоншою ця ділянка виявилася у кролів-НТ. Симпатотоніки переважали їх на 3,65 мкм, а парасимпатотоніки – на 4,69 мкм. У структурі слизової оболонки товщина даного шару становила 30,7 % – кролі-СТ; 28,9 % – кролі-НТ; 32,7 % – кролі-ПСТ. При цьому варіабельність значень залишалася низькою і її коефіцієнт становив 3–9 %.

Сумарно, вище представлені показники, утворювали слизову оболонку (рис. 1), яка в стінці стравоходу кролів-НТ займала найбільшу частку (19,8 %). При симпатотонії вона зменшувалася до 18,7 %, а при парасимпатотонії – до 16,3 %. Подібним зв'язком з автономною регуляцією характеризувалися і абсолютні величини цього показника. Найтонша слизова оболонка кролів-ПСТ поступалася симпатотонікам на 9,41 мкм, а нормотонікам – на 9,8 мкм. Висока одно-

рідність значень в усіх групах тварин утримувала коефіцієнт варіації в межах 3–9 %.

Проаналізувавши досліджені показники слизової оболонки, встановили, що майже всіх їх поєднувала висока однорідність значень в межах кожної групи тварин. Проте, цього виявилось недостатньо, щоб сформулювати достовірні відмінності між типами автономної регуляції, за винятком м'язової пластинки.

Хоча, функціональні характеристики останньої і є менш вираженими ніж у шлунку чи кишечнику (Percy et al., 1997), проте, вона ефективно забезпечує рухову активність слизової оболонки, зокрема регулює її здатність формувати складки. Згідно наших результатів, у кролів-НТ вказана властивість була потенційно сильнішою ніж у симпатотоніків і особливо парасимпатотоніків.

Таблиця 2

Товщина структур стінки стравоходу кроля (у відносних величинах)

Назва показника	Тип автономної регуляції	Частка від товщини стінки (%)	Частка від товщини оболонки (%)
Товщина слизової оболонки	СТ	18,7	
	НТ	19,8	
	ПСТ	16,3	
Товщина епітелію	СТ	13,0	69,2
	НТ	13,6	68,7
	ПСТ	11,7	71,6
Товщина рогового шару епітелію	СТ	5,8	30,7
	НТ	5,7	28,9
	ПСТ	5,3	32,7
Товщина власної пластинки слизової оболонки	СТ	2,4	12,8
	НТ	2,5	12,6
	ПСТ	2,1	13,0
Товщина м'язової пластинки слизової оболонки	СТ	3,4	18,1
	НТ	3,7	18,8
	ПСТ	2,5	15,4
Товщина підслизової основи	СТ	8,6	
	НТ	7,8	
	ПСТ	6,5	
Товщина м'язової оболонки	СТ	68,3	
	НТ	65,6	
	ПСТ	73,6	
Товщина внутрішнього поздовжнього шару м'язової оболонки	СТ	20,6	30,1
	НТ	22,6	34,5
	ПСТ	27,6	37,5
Товщина колового шару м'язової оболонки	СТ	37,6	55,0
	НТ	33,5	51,0
	ПСТ	36,4	49,5
Товщина зовнішнього поздовжнього шару м'язової оболонки	СТ	10,2	14,9
	НТ	9,5	14,5
	ПСТ	9,6	13,0
Товщина серозної оболонки	СТ	4,3	
	НТ	6,8	
	ПСТ	3,6	

Назагал, низька чутливість залежності морфометричних показників слизової оболонки від типу автономної регуляції могла базуватися на тому, що корм проходить через стравохід транзитом і контакт з ним є короточасним. При цьому, важливим адаптаційним пристосуванням є зроговіння епітеліального шару слизової оболонки, що захищає її від травмування кормом та профілактує подразнення вмістом шлунку під час рефлюксу. Відповідно, товщина епітелію в цілому та його рогового шару зокрема характеризують захисні можливості стінки стравоходу (Zhang et al., 2010). Мінімальні та не достовірні відмінності цих показників у досліджуваних груп тварин, вказували на стабільність цього показника при всіх типах автономної регуляції.

Підслизова основа (рис. 2) сформована пухкою

сполучною тканиною з домішками жирової тканини. Її товщина мала достовірні відмінності ($P < 0,05$) у кролів-СТ та ПСТ. Перші поступалися другим на 16,14 мкм. Нормотоніки переважали симпатотоніків на 2,44 мкм. Внесок підслизової основи у товщину стравохідної стінки становив 8,6 % у кролів-СТ, 7,8 – у нормотоніків та 6,5 – у парасимпатотоніків. Коефіцієнт варіації незначно зріс порівняно з попередніми показниками, проте також залишався низьким в межах 9–12 %.

У кролів-ПСТ встановлено негативну кореляцію ($r = -0,9175$, $p = 0,0281$) між товщиною підслизової основи та товщиною зовнішнього поздовжнього шару м'язової оболонки.

Більше двох третин стравохідної стінки займала м'язова оболонка, утворена трьома шарами м'язів:

двома поздовжніми (зовнішнім та внутрішнім) та одним коловим (рис. 3). Найтоншим серед них був зовнішній поздовжній шар, товщина якого при різних типах автономної регуляції відрізнялася не достовірно. Причина полягала у значному, порівняно з попередніми показниками, зростанні варіабельності значень, яка в кролів-НТ досягла середнього рівня ($CV = 14,90\%$), а в парасимпатотоніків – високого рівня ($CV = 25,69\%$). Поряд з тим, у кролів-СТ вона залишилася низькою ($CV = 6,06\%$).

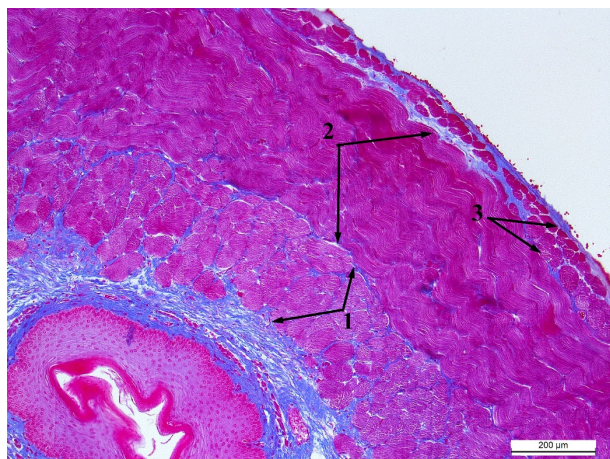


Рис. 3. Структура м'язової оболонки стравоходу кроля-НТ: 1 – внутрішній поздовжній шар; 2 – коловий шар; 3 – зовнішній поздовжній шар. Забарвлення азаном за Гейденгайном

За абсолютними величинами найменшу товщину цей шар мав у кролів-НТ. На $12,29\text{ мкм}$ їх переважали симпатотоніки та на $16,05\text{ мкм}$ – парасимпатотоніки. У загальній товщині м'язової оболонки частка зовнішнього поздовжнього шару становила менше 15% ($14,9\%$ у кролів-СТ, $14,5\%$ – у НТ та $13,0\%$ – у ПСТ).

Товщина зовнішнього поздовжнього шару м'язової оболонки кролів-НТ мала позитивну кореляцію з товщиною її колового шару ($r = 0,9211$, $p = 0,0263$).

Товщина внутрішнього поздовжнього шару була в двічі більшою та характеризувалася високою однорідністю значень у кролів-НТ ($CV = 8,37\%$) і ПСТ ($CV = 4,60\%$). У симпатотоніків коефіцієнт варіації збільшився до середнього рівня ($14,17\%$). Абсолютні значення цього показника мали достовірні відмінності при різних типах автономної регуляції. Найменшими вони виявилися в кролів-СТ, які поступалися парасимпатотонікам на $107,75\text{ мкм}$ ($P < 0,05$) і значно менше нормотонікам – на $10,1\text{ мкм}$. Відмінність цього показника від інших структурних частин стінки стравоходу полягала у наявності достовірної різниці ($97,65\text{ мкм}$ ($P < 0,05$)) між значеннями кролів-НТ та ПСТ. У цілій м'язовій оболонці на внутрішній поздовжній шар припадала третина товщини ($30,1\%$ – кролі-СТ; $34,5\%$ – НТ; $37,5\%$ – ПСТ).

Товщина внутрішнього поздовжнього шару м'язової оболонки у кролів-СТ мала негативну кореляцію з товщиною її колового шару ($r = -0,9551$, $p = 0,0113$), а в кролів-НТ – позитивну кореляцію з

товщиною серозної оболонки ($r = 0,9923$, $p = 0,0008$).

Зовнішній та внутрішній поздовжні шари забезпечують перистальтичні скорочення м'язової оболонки та є важливим елементом рецепторного апарату стінки стравоходу (Mittal, 2013). Оскільки, обидва шари мали найбільшу товщину при парасимпатотонії, можемо припустити, що дана група тварин може проявляти більш виражені перистальтичні рухи, у той час, як симпатотонія та нормотонія більше впливають на інші функціональні аспекти стравохідної стінки.

Найтовстішою частиною м'язової оболонки був коловий шар, який у кролів-СТ та НТ переважав сумарну товщину двох поздовжніх шарів. При цьому, кролі-нормотоніки характеризувалися з одного боку – найменшою абсолютною товщиною цього шару, а з іншого боку – найбільшою варіабельністю значень ($CV = 18,53\%$). Тварини інших типів автономної регуляції, навпаки, мали високу однорідність значень та перевищували попередню групу на $64,88\text{ мкм}$ ($CV = 5,78\%$) – кролі-СТ та на $91,04\text{ мкм}$ ($P < 0,05$; $CV = 3,62\%$) – кролі-ПСТ. Частка колового шару у структурі м'язової оболонки досягала найбільшого рівня у кролів-СТ (55%), середніх значень – у нормотоніків (51%) та мінімальних величин – у парасимпатотоніків ($49,5\%$).

У функціональному плані коловий шар допомагає двом поздовжнім шарам забезпечувати перистальтику стравоходу, а також обумовлює підвищення тиску в середині цього органу під час м'язових скорочень (Vegesna et al., 2012). При цьому, функціональні характеристики кожного з шарів м'язової оболонки базуються на особливостях просторової орієнтації їх м'язових волокон.

На рівні всієї м'язової оболонки перевага за її абсолютною товщиною належала тваринам з парасимпатотонією. При нормотонії товщина оболонки зменшувалася на $204,74\text{ мкм}$ ($P < 0,05$), а при симпатотонії – на $137,66\text{ мкм}$ ($P < 0,05$). Кролі-СТ характеризувалися найвищою однорідністю значень ($CV = 1,56\%$) серед всіх досліджених показників. Мінімальна варіабельність ($CV = 3,82\%$) також відповідала парасимпатотонікам, і до середнього рівня піднімалася у нормотоніків ($CV = 11,52\%$). Найбільший внесок м'язової оболонки у загальну товщину стравохідної стінки виявлено у кролів-ПСТ ($73,6\%$), найменша частка відповідала кролям-НТ ($65,6\%$) і проміжна величина – кролям-СТ ($68,3\%$).

Не дивлячись на виявлені морфометричні відмінності окремих шарів м'язової оболонки при різних типах автономної регуляції, під час перистальтики стравоходу у нормі всі три шари проявляють дуже високий рівень синхронності скорочень (Mittal et al., 2006). Це вказує на комплексність впливу автономної регуляції на м'язову оболонку стравохідної стінки, при якій завжди зберігається її структурна єдність. При цьому, потовщення одного з шарів чи всієї м'язової оболонки при певному типі автономної регуляції, з одного боку може бути ознакою норми та характеризувати морфо-функціональні особливості органу, а з іншого боку – вказувати на розвиток патологічних процесів у його стінці, зокрема регургітації (Parkinson et al., 2017).

Завдяки трубчатій формі стравоходу, під час скорочень м'язових елементів його стінки, орган зазнає осьової деформації (Lu & Gregersen, 2001). Її характер та інтенсивність можуть пов'язуватися з типами автономної регуляції, а тому даний аспект необхідно враховувати при дослідженні функціональних характеристик стравоходу.

Відмінною рисою серозної оболонки (рис. 1) була висока варіабельність її значень при всіх типах автономної регуляції, що різко контрастувало на фоні інших показників. При цьому, найнижчий рівень варіабельності встановлено у тварин-ПСТ ($CV = 27,66\%$). У симпатотоніків коефіцієнт варіації зростав до $35,87\%$, а в нормотоніків – до $59,29\%$. Причина цього явища полягала в тому, що в деяких ділянках серозної оболонки спостерігалось накопичення жирової тканини, а також проходили судини та нерви. Проте, вплив серозної оболонки на загальну товщину стінки стравоходу був відносно незначним і в кролів-СТ дорівнював $4,3\%$, у НТ – $6,8\%$, у PST – $3,6\%$. За абсолютними значеннями найтонша серозна оболонка у тварин-парасимпатотоніків поступалася симпатотонікам на $4,05\text{ мкм}$, а нормотонікам – на $28,21\text{ мкм}$.

Порівнявши абсолютні та відносні показники окремих структур, виявлено, що вони мають відмінності зв'язку з типом автономної регуляції. У одних показників (товщина слизової оболонки, товщина м'язової пластинки слизової оболонки, товщина підслизової основи, товщина м'язової оболонки, товщина серозної оболонки) мінімальні та максимальні значення відповідають тим самим групам тварин. У інших показників (товщина епітелію, товщина рогового шару епітелію, товщина власної пластинки слизової оболонки, товщина внутрішнього поздовжнього шару м'язової оболонки, товщина колового шару м'язової оболонки, товщина зовнішнього поздовжнього шару м'язової оболонки) мінімальні та максимальні абсолютні значення відповідають одним групам кролів, а мінімальні та максимальні відносні значення – іншим групам.

Наявність особливостей кореляційного зв'язку між компонентами стравохідної стінки у кожній групі тварин, вказувала на її цілісність, як морфологічної структури, що комплексно пристосовується до функціональних потреб травлення (Stavropoulou et al., 2012), обумовлених типологічними особливостями автономної регуляції.

Висновки

Типологічні відмінності автономної регуляції, сформовані в організмі кролів, обумовлюють морфофункціональні особливості грудного відділу їх стравоходу. Це проявляється відмінностями товщини стінки органу, її оболонок та їх структурних частин. Найбільш чутливими до відмінностей автономного тону виявилися м'язові елементи стравохідної стінки (м'язова пластинка слизової оболонки та окремі шари м'язової оболонки), які характеризувалися достовірними відмінностями між групами тварин. При цьому, морфометричні дослідження не виявили єдиного типу автономної регуляції, який би мав цілковиту перевагу у величині усіх досліджених показників.

Симпатотонія обумовлювала більші значення товщини епітелію, власної пластинки слизової оболонки та підслизової основи. При нормотонії найтовстішими виявилися ціла слизова оболонка, її м'язова пластинка та серозна оболонка. Проте, найбільша кількість показників (ціла стравохідна стінка, роговий шар епітелію, ціла м'язова оболонка та кожен з її трьох шарів) досягали максимальної товщини при парасимпатотонії. Більшість показників у межах кожної групи тварин характеризувалася низькою (інколи навіть мінімальною) та середньою варіабельністю величин. Виняток становила серозна оболонка при всіх типах автономної регуляції та зовнішній поздовжній шар м'язової оболонки кролів-ПСТ. Наявність кореляційних зв'язків при кожному типі автономної регуляції та висока однорідність значень загальної товщини стінки стравоходу вказують на комплексність адаптаційних процесів, що формуються у цьому органі під впливом тонічно-трофічних впливів з боку автономної нервової системи.

Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

References

- Bor, S., & Capanoglu, D. (2009). The additive effect of ethanol and extract of cigarette smoke on rabbit esophagus epithelium. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 24(2), 316–321. DOI: 10.1111/j.1440-1746.2008.05634.x.
- Cipou, M. F., Martonos, C., Gal, A. F., Rus, V., Vlasiuc, I., Miclaus, V., & Damian, A. (2021). Histological and morphometrical study of the oesophagus in adult domestic rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Revista Romana de Medicina Veterinara*, 31(4), 45–49. URL: https://agmv.ro/wp-content/uploads/2021/12/45_49_Cipou_5_c.pdf.
- Cunningham, E. T., & Sawchenko, P. E. (1990). Central neural control of esophageal motility: a review. *Dysphagia*, 5(1), 35–51. DOI: 10.1007/BF02407391.
- De Hertogh, G., Ectors, N., Van Eyken, P., & Geboes, K. (2006). Review article: the nature of oesophageal injury in gastro-oesophageal reflux disease. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 24(2), 17–26. DOI: 10.1111/j.1365-2036.2006.03037.x.
- Greenwood-Van Meerveld, B., Johnson, A. C., & Grundy, D. (2017). Gastrointestinal physiology and function. *Handbook of Experimental Pharmacology*, 239, 1–16. DOI: 10.1007/164_2016_118.
- Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). *Circulation*, 93(5), 1043–1065. DOI: 10.1161/01.CIR.93.5.1043.
- Hornby, P. J., & Abrahams, T. P. (2000). Central control of lower esophageal sphincter relaxation. *The American journal of medicine*, 108 Suppl 4a, 90S–98S. DOI: 10.1016/s0002-9343(99)00345-9.
- Hussein, B. M., Muna, H. A., & Walaa, F. O. (2017). Histological study of esophagus in dogs and rabbits. *Journal University of Kerbala*, 15(3), 55–62.

- Leite, S. M., Santos, E. M. G. S., Almeida, M. R., Oliva, N., Stevanato, G. G., Gasque, J. P. N., Ribeiro, L. B., & Castilha, L. D. (2024). Digestive physiology of rabbits in the pre- and post-weaning phases. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 46(1), e70031. DOI: 10.4025/actascianimsci.v46i1.70031.
- Lu, X., & Gregersen, H. (2001). Regional distribution of axial strain and circumferential residual strain in the layered rabbit oesophagus. *Journal of Biomechanics*, 34(2), 225–233. DOI: 10.1016/s0021-9290(00)00176-7.
- Mittal, R. K. (2013). Longitudinal muscle of the esophagus: its role in esophageal health and disease. *Current Opinion in Gastroenterology*, 29(4), 421–430. DOI: 10.1097/MOG.0b013e3283622b57.
- Mittal, R. K., Padda, B., Bhalla, V., Bhargava, V., & Liu, J. (2006). Synchrony between circular and longitudinal muscle contractions during peristalsis in normal subjects. *The American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology*, 290(3), G431–G438. DOI: 10.1152/ajpgi.00237.2005.
- Mohammad, H. J., Ali, A. K., & Al-Ali, Z. A. J. R. (2020). Comparative histochemical and histomorphometrical study of esophagus structures in sheep (*Ovis aries*) and rabbits (*Oryctolagus Cuniculus*). *Periódico Tchê Química*, 17(36), 457–475. DOI: 10.52571/PTQ.v17.n36.2020.472_Periodico36_pgs_457_475.pdf.
- Mulisch, M., & Welsch, U. (2015). *Romeis – Mikroskopische Technik*. Berlin: Springer Spektrum, 172–309. DOI: 10.1007/978-3-642-55190-1.
- Orlando, R. C., Bryson, J. C., & Powell, D. W. (1986). Effect of cigarette smoke on esophageal epithelium of the rabbit. *Gastroenterology*, 91(6), 1536–1542. DOI: 10.1016/0016-5085(86)90212-x.
- Parkinson, L., Kuzma, C., Wuenschmann, A., & Mans C. (2017). Esophageal smooth muscle hypertrophy causing regurgitation in a rabbit. *Journal of Veterinary Medical Science*, 79(11), 1848–1852. DOI: 10.1292/jvms.17-0296.
- Percy, W. H., Miller, A. J., & Brunz, J. T. (1997). Pharmacologic characteristics of rabbit esophageal muscularis mucosae in vitro. *Digestive Diseases and Sciences*, 42(12), 2537–2546. DOI: 10.1023/a:1018820830358.
- Ranjan, R., & Das, P. (2016). Gross morphology and histo-architecture of rabbit esophagus. *The Indian Veterinary Journal*, 93(5), 40–44.
- Richards, W. G., & Sugarbaker, D. J. (1995). Neuronal control of esophageal function. *Chest Surgery Clinics of North America*, 5(1), 157–171. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7743145>.
- Selim, A., Hazaa, E., & Goda, W. (2017). Comparative histological studies of the esophagus wall of *Oryctolagus cuniculus* rabbit adult, young and lactating using light microscope. *Journal of Cytology and Histology*, 8(2), 1–4. DOI: 10.4172/2157-7099.1000456.
- Stavropoulou, E. A., Dafalias, Y. F., & Sokolis, D. P. (2012). Biomechanical behavior and histological organization of the three-layered passive esophagus as a function of topography. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 226(6), 477–490. DOI: 10.1177/0954411912444073.
- Taylor, E. W., Leite, C. A. C., Sartori, M. R., Wang, T., Abe, A. S., & Crossley, D. A. (2014). The phylogeny and ontogeny of autonomic control of the heart and cardiorespiratory interactions in vertebrates. *The Journal of Experimental Biology*, 217, 690–703. DOI: 10.1242/jeb.086199.
- Tobey, N. A., Sikka, D., Marten, E., Caymaz-Bor, C., Hosseini, S. S., & Orlando, R. C. (1999). Effect of heat stress on rabbit esophageal epithelium. *American Journal of Physiology*, 276(6), 1322–1330. DOI: 10.1152/ajpgi.1999.276.6.G1322.
- Tybinka, A., Zakrevska, M., & Shchebentovska, O. (2022). Morphometric and histochemical features of the harderian gland in rabbits with different types of autonomous regulation. *Macedonian Veterinary Review*, 45(2), 157–168. DOI: 10.2478/macvetrev-2022-0024.
- Vegesna, A. K., Chuang, K. Y., Besetty, R., Phillips, S. J., Braverman, A. S., Barbe, M. F., Ruggieri, M. R., & Miller, L. S. (2012). Circular smooth muscle contributes to esophageal shortening during peristalsis. *World Journal of Gastroenterology*, 18(32), 4317–4322. DOI: 10.3748/wjg.v18.i32.4317.
- Zakrevska, M. V., & Tybinka, A. M. (2019). Variatsiino-pulsometrychnye doslidzhennia kroliv. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu veterynarykh preparativ ta kormovykh dobavok i instytutu biolohii tvaryn*, 2, 230–237. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntbibt_2019_20_2_31 (in Ukrainian).
- Zhang, D. H., Zhou, L. Y., Dong, X. Y., Cui, R. L., Xue, Y., & Lin, S. R. (2010). Factors influencing intercellular spaces in the rat esophageal epithelium. *World Journal Gastroenterology*, 16(9), 1063–1069. DOI: 10.3748/wjg.v16.i9.1063.