

Original researches

Structural and Functional Organization of Central Organs of Hematopoiesis and Immune Protection of Piglets During the Early Postnatal Period of Ontogenesis

Received: 22 October 2018
Revised: 10 November 2018
Accepted: 07 December 2018

A. V. Oliiar, M. A. Lieshchova
Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Dnipro State Agrarian and Economic
University, Sergii Efremov Str., 25, Dnipro,
49600, Ukraine

Tel.: +38-067-256-24-86
E-mail: oliiar.a.v@dsau.dp.ua
lieshchova.m.o@dsau.dp.ua

Cite this article: Oliiar, A. V. & Lieshchova, M. A. (2019). Structural and functional organization of central organs of hematopoiesis and immune protection of piglets during the early postnatal period of ontogenesis. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 7(1), 8–13.
doi: 10.32819/2019.71002

Abstract. Factors of the environment and anthropogenic factors have a negative influence on the body of newborn animals, especially with unfinished morphofunctional status, which often leads to a decrease in the resistance and development of immunodeficient conditions. The thigh bone, 9th thoracic vertebra and thymus of piglets were studied during the early postnatal ontogenesis (1-, 5-, 10-, 15-day-old age) of Ukrainian white breed, which was reared in accordance with traditional technologies. The dynamics of absolute, relative mass of organs, relative area of tissue components and centers of ossification of bones were determined by means of histologic, X-ray and morphometric methods. It has been established that in neonates and piglets of the neonatal period, the morphofunctional status of blood formation and immune protection central organs is determined by the ratio of parenchymal and stromal tissue components, which affects the realization of adaptive capabilities and viability of animals. In the thigh bone of the newborn piglets, all main and secondary ossification cells are developed, and in the 9th thoracic vertebra only diaphyseal. The bone marrow is clearly differentiated into osteoblastic, red and yellow; the degree of development, the peculiarities of localization and structure of each of them are determined by the morphofunctional status of components of microenvironment – bone and cartilaginous tissues. The bone tissue is divided into primary tissue, which is located in the zones of bone growth and is filled with osteoblastic bone marrow, and the secondary spongy bone, which is localized in epiphyses and diaphyses with red bone marrow, fat cells, and also compact bone. The peculiarity of the tissue organization of the thymus is the development of connective tissue and a special reticuloepithelial stroma, as well as the differentiation of lymphoid tissue on the cortical and brain areas with a clear boundary and the presence of the brain layered epithelial cells (the presence of Hassall's corpuscles (thymic corpuscles bodies) in the brain. In piglets of the neonatal period, in the organs of universal hemopoiesis, the number of red and yellow bone marrow, as well as bone tissue increases, and while - osteoblastic bone marrow and cartilage tissue decreases. In the central organ of lymphocytopoiesis, the thymus, the increase of lymphoid tissue occurs.

Keywords: piglets; blood forming organs; bone organs; bone marrow; bone tissue; cartilaginous tissue; lymphoid tissue; reticular frame.

Структурно-функціональна організація центральних органів кровотворення та імунного захисту поросят протягом раннього постнатального періоду онтогенезу

A. V. Оліяр, М. О. Лещова
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

Анотація. Фактори зовнішнього середовища та антропогенні чинники негативно впливають на організм новонароджених тварин, особливо з незавершеним морфофункціональним статусом, що нерідко призводить до зниження резистентності і розвитку імунодефіцитних станів. Досліджували стегнову кістку, 9-й грудний хребець, тимус поросят протягом раннього постнатального онтогенезу (1-, 5-, 10-, 15-добового віку) української білої породи, яких вирощували за традиційними технологіями. Гістологічними, рентгенологічними та морфометричними методами визначали динаміку абсолютної, відносної маси органів, відносної площі тканинних компонентів і осередків окостеніння кісток. Встановлено, що у новонароджених тварин і поросят неонатального періоду морфофункціональний стан кровотворення та імунного захисту центральних органів визначається співвідношенням компонентів паренхіматозної і стромальної тканин, що впливає на реалізацію адаптаційних можливостей і життєздатності тварин. У стегновій кістці новонароджених поросят розвинуті всі основні й додаткові осередки окостеніння, а в 9-му грудному хребці – лише діафізарний. Кістковий мозок чітко диференційований на остеобластичний, червоний і жовтий; ступінь розвитку, особливості локалізації та структури кожного з них, визначаються морфофункціональним статусом компонентів мікрооточення – кісткової і хрящової тканин. Кісткова тканина ділиться на первинну, яка знаходиться в зонах росту кісткових органів, заповнена остеобластичним кістковим мозком, і вторинну губчасту, яка локалізується в епіфізах і діафізі з червоним кістковим мозком, жировими клітинами, а також компактну. Особливістю тканинної організації тимуса є розвиток сполучнотканинної і особливої ретикулоепітеліальної стромы, а також диференціація лімфоїдної тканини на кіркову та мозкову зони з чіткою межею і наявністю в

мозковій шаруватих епітеліальних тілець (тілець Гассалья). У поросят неонатального періоду в органах універсального гемопоезу збільшується кількість червоного та жовтого кісткового мозку, а також кісткової тканини і зменшується – остеобластичного кісткового мозку та хрящової тканини. У центральному органі лімфоцитопоезу, тимусі, відбувається збільшення лімфоїдної тканини.

Ключові слова: поросята; органи кровотворення; кісткові органи; кістковий мозок; тимус; кісткова та хрящова тканини; лімфоїдна тканина; ретикулярна строма.

Вступ

Сьогодні однією з важливих проблем для науковців є вивчення морфології, фізіології та патології імунної системи, що в першу чергу пов'язано зі запитом клінічної ветеринарної медицини, так як на організм ссавців, в тому числі сільськогосподарських тварин, впливає значна кількість нових екологічних, антропогенних, техногенних та інших факторів (Abaeva, 2017; Evert, 2018a; Lin et al., 2018). Складна екологічна ситуація, жорстка дія факторів людської діяльності, тривале перебування тварин в умовах, що не відповідають природним (гіподинамія, висококонтратна годівля, селекція, технологічний стрес) призводять до зниження резистентності організму та виникненню у зв'язку з цим різних захворювань, особливо в молодняку. Особлива увага в останні роки надається дослідженню закономірностей морфогенезу органів кровотворення та імунного захисту в продуктивних тварин, морфофункціональний статус яких визначає стан природної резистентності, неспецифічної та імунологічної реактивності організму.

До центральних органів кровотворення та імунного захисту ссавців згідно зі сучасною класифікацією відносять кістковий мозок і тимус. Кістковий мозок, а саме його гемопоетична форма (червоний кістковий мозок), є органом, де утворюються всі без винятку формені елементи крові, включно з В-лімфоцитами. У тимусі з попередників шляхом клональної селекції відбувається антигеннезалежна проліферація та диференціація Т-лімфоцитів із набуттям ними імунокомпетентності (Kitagawa & Sakaguchi, 2016). Окрім цього тимус виконує ендокринну функцію, його гормони не лише контролюють та стимулюють імуногенез, а і відповідають за ріст та розвиток усього організму (Liu & Ellis, 2016).

Відомо, що органи імунного захисту, виконуючи специфічну функцію, мають певні відмінні від загальних закономірності росту та розвитку. Для них характерні рання закладка в ембріогенезі, повна функціональна зрілість на момент народження та рання вікова інволюція (Bajmishiev et al., 2013; Panikar et al., 2015).

При дослідженні кісток скелета як органів універсального гемопоезу у лабораторних і продуктивних тварин встановлено, що кровотворні компоненти, клітини строми кісткового мозку, судини мікроциркуляторного русла, а також кісткова та хрящова тканини утворюють суцільну структурно-функціональну систему, більшість клітинних елементів якої розвиваються з єдиної стовбурової клітини – загальної попередника кісткових і кістковомозкових механоцитів (Mazhuga, 1978; Lin et al., 2018). Участь тимуса в кровотворенні зводиться до забезпечення антигеннезалежної проліферації популяції лімфоцитів, що позначаються як Т-лімфоцити, які, покинувши його, населяють Т-залежні зони периферійних лімфоїдних органів (Kitagawa & Sakaguchi, 2016; Liu & Ellis, 2016). На момент народження органи лімфоцитопоезу досягають рівня морфологічної зрілості, достатньої для виконання дефінітивних функцій (проліферації різних клонів лімфоцитів). Однією з основних закономірностей росту і розвитку органів лімфоцитопоезу, в тому числі й тимуса, в ранньому постнатальному онтогенезі є інтенсивне збільшення їх морфометричних характеристик, що супроводжується прискореним диференціюванням лімфоїдної тканини (Panikar et al., 2015; Gavrilin et al., 2017). Фундаментальною й прикладною проблемою сучасної біології гуманної та вете-

ринарної медицини є дослідження закономірностей розвитку, будови та функціонування органів імуногенезу, які виконують кровотворну функцію й забезпечують імунітет – звільнення організму від усього генетично чужого.

Тому метою дослідження було з'ясувати закономірності структурно-функціональної організації центральних органів кровотворення та імунного захисту в поросят протягом раннього постнатального періоду онтогенезу.

Матеріал і методи досліджень

Роботу виконували у свинарських господарствах України з класичною технологією вирощування свиней і Науково-дослідному центрі біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК Дніпровського ДАЕУ. Досліджували кісткові органи (стегнова кістка, 9-й грудний хребець) і тимус від новонароджених, 5-, 10- та 15-добових поросят ($n = 5$) білої української породи. Маса тіла тварин, її динаміка відповідали породі та віку. Органи відбирали від клінічно здорових тварин в умовах господарства, після анатомічного препарування визначали абсолютну (ваги KERN-440-35A з точністю до 0,001 г) і відносну (до живої маси) масу органів. Наявність і ступінь розвитку діа-, епі- та апофізарного осередків окостеніння, а також особливості структури губчастої та компактною кісткової тканин в органах універсального гемопоезу визначали на рентгенограмах, виготовлених на рентгенологічному апараті «Арман-1» (модель 9Л5), напруга на трубіці 75 кВ, фокусна відстань 40 см, анодний струм до 100 міліампер на секунду (2-4 рази). Фіксацію матеріалу проводили спочатку в 5%-вому (7 діб), а потім у 10%-вому водному розчині формаліну за загальноприйнятими методиками. Після фіксації кістки декальцинували в 10%-вому розчині трилону Б на 4%-вому розчині формаліну, заливали в парафін з подальшим виготовленням гістозрізів. Парафінові зрізи забарвлювали гематоксиліном і еозином за загальноприйнятими методиками. Кількісне співвідношення та якісну характеристику стромальних і паренхіматозних компонентів органів гемоімунопоезу визначали при дослідженні зрізів за допомогою мікроскопа Olimpus CH 20 (окуляр 10, об'єктив $\times 40$; $\times 100$). У гістологічних препаратах шляхом підрахунку крапок, які потрапили на відповідну складову гістологічного препарату, визначали відносну площу тканинних компонентів (Avtandilov, 1990). Виміри проводили не менше ніж на 5 зрізах із кожного фрагмента органа за формулою

$$S \text{ відн.} = P_t : P_z \cdot 100\%,$$

де S відн. – відносна площа відповідних компонентів, %;

P_t – кількість крапок, що потрапили на відповідні тканинні компоненти;

P_z – загальна кількість крапок на всій площі гістологічного препарату.

У кістках визначали відносну площу кісткової, хрящової тканин, остеобластичного, гемопоетичного і жирового кісткового мозку, а у тимусі – сполучної та лімфоїдної тканин, кіркової і мозкової зон часточок.

Отримані результати досліджень статистично оброблені та представлені за допомогою Statistica 6.0. Вірогідність різниць оцінювали за t-критерієм Стюдента, результати вважали вірогідними при $P < 0,05$. У таблиці й на рисунках дані представлені у вигляді середніх значень та їх стандартних відхилень.

Результати

У результаті проведених досліджень встановлено, що найбільш біологічно зрілими в новонароджених поросят є кісткові органи. Ступінь осифікації стегнової кістки визначається наявністю діа-, епі- та апофізарного осередків окостеніння, а 9-го грудного хребця – лише діафізарного. У кісткових органах переважала дрібновічкова губчаста кісткова тканина, а компактна (сітчастої будови) виявлялася лише в діафізі стегнової. Відносна площа осередків окостеніння в стегновій кістці досягала $67,8 \pm 1,08\%$, тоді як у 9-му грудному хребці – $68,7 \pm 0,83\%$.

Відомо, що кісткова тканина органів універсального гемопоезу поділяється на губчасту первинну і вторинну та компактну. Встановлено, що вічка первинної губчастої кісткової тканини, яка знаходилася в зонах росту, сформовані хрящовими трабекулами, які покриті смужками незрілої кісткової тканини – остеодом і заповнені остеобластичним кістковим мозком. У дрібновічкової губчастій кістковій тканині, яка локалізувалася в епіфізах і проксимальних та дистальних ділянках діафіза, переважав червоний кістковий мозок із поодинокими жировими клітинами. У середньо- та великовічкової губчастій кістковій тканині, що локалізувалася в середніх ділянках діафіза, містився червоний кістковий мозок, серед якого зустрічалися як поодинокі ліпоцити, так і їх скупчення. У 9-му грудному хребці жирові клітини не виявлялися. Компактна кісткова тканина була утворена балками з ретикулофіброзної кісткової тканини, які формують вічка, заповнені пухкою волокнистою сполучною тканиною та кровоносними судинами. У 9-му грудному хребці вона була відсутня.

У новонароджених поросят найрозвиненішим тканинним компонентом кісткових органів виявився кістковий мозок, його загальна відносна площа становила майже $44,0\%$ у стегновій кістці та $42,0\%$ - у 9-му грудному хребці (табл. 1). Відносна площа кісткової тканини в стегновій кістці дорівнювала $22,21 \pm 0,51\%$, у 9-му грудному хребці – $23,78 \pm 0,21\%$. Максимальну площу хрящової тканини спостерігали в 9-му грудному хребці ($30,75 \pm 0,25\%$), а мінімальну – у стегновій кістці ($29,61 \pm 0,44\%$). У кістковому мозку максимально сформованою, а отже, і функціонально активною була гемопоетична форма (червоний кістковий мозок). Його відносна площа в стегновій кістці новонароджених поросят сягала майже $35,0\%$, а в 9-му грудному хребці – $32,0\%$. Відносна площа остеобластичного кісткового мозку в стегновій кістці не перевищувала $9,0\%$, у 9-му груд-

ному хребці – $10,0\%$. У стегновій кістці ми фіксували появу адипоцитів (жовтий кістковий мозок), їх відносна площа не перевищувала $0,18 \pm 0,03\%$.

дрібновічкової губчастій кістковій тканині, яка локалізувалася в епіфізах і проксимальних та дистальних ділянках діафіза, переважав червоний кістковий мозок із поодинокими жировими клітинами. У середньо- та великовічкової губчастій кістковій тканині, що локалізувалася в середніх ділянках діафіза, містився червоний кістковий мозок, серед якого зустрічалися як поодинокі ліпоцити, так і їх скупчення. У 9-му грудному хребці жирові клітини не виявлялися. Компактна кісткова тканина була утворена балками з ретикулофіброзної кісткової тканини, які формують вічка, заповнені пухкою волокнистою сполучною тканиною та кровоносними судинами. У 9-му грудному хребці вона була відсутня.

У новонароджених поросят найрозвиненішим тканинним компонентом кісткових органів виявився кістковий мозок, його загальна відносна площа становила майже $44,0\%$ у стегновій кістці та $42,0\%$ - у 9-му грудному хребці (табл. 1). Відносна площа кісткової тканини в стегновій кістці дорівнювала $22,21 \pm 0,51\%$, у 9-му грудному хребці – $23,78 \pm 0,21\%$. Максимальну площу хрящової тканини спостерігали в 9-му грудному хребці ($30,75 \pm 0,25\%$), а мінімальну – у стегновій кістці ($29,61 \pm 0,44\%$). У кістковому мозку максимально сформованою, а отже, і функціонально активною була гемопоетична форма (червоний кістковий мозок). Його відносна площа в стегновій кістці новонароджених поросят сягала майже $35,0\%$, а в 9-му грудному хребці – $32,0\%$. Відносна площа остеобластичного кісткового мозку в стегновій кістці не перевищувала $9,0\%$, у 9-му грудному хребці – $10,0\%$. У стегновій кістці ми фіксували появу адипоцитів (жовтий кістковий мозок), їх відносна площа не перевищувала $0,18 \pm 0,03\%$.

У новонароджених поросят анатомічно сформованим і представленим шийною (парна і непарна) та грудною частками був тимус. Його абсолютна маса становила $3,73 \pm 0,52$ г, а відносна – $0,36 \pm 0,02\%$. Морфофункціональні особливості тканинних компонентів тимуса новонароджених поросят характеризувалися значним розвитком лімфоїдної тканини (від $86,70 \pm 0,72$ до $90,04 \pm 0,58\%$) та слабим стромальним структур (від $9,96 \pm 0,57$ до $13,30 \pm 0,72\%$) у різних його частинах (табл. 2).

Встановлено, що відносна площа мозкової зони в усіх частках тимуса в 3,5 раза менша за площу кіркової. Кіркова зона часточок тимуса утворена лімфоцитами на різних стадіях проліферації та диференціації. Аргірофільну строму паренхіми

Таблиця 1. Динаміка відносної площі тканинних компонентів стегнової кістки та 9-го грудного хребця поросят ($M \pm m$; $n = 20$), %

Вікова група, доба	Тканинні компоненти					
	хрящова тканина	кісткова тканина	кістковий мозок			інші структури
			остеобластичний	червоний	жовтий	
Стегнова кістка						
1	$29,61 \pm 0,44$	$22,21 \pm 0,51$	$8,79 \pm 0,33$	$34,68 \pm 0,59$	$0,18 \pm 0,03$	$4,52 \pm 0,35$
5	$24,74 \pm 0,62^{***}$	$25,57 \pm 0,34^{**}$	$6,00 \pm 0,51^{***}$	$39,57 \pm 0,16^{***}$	$1,13 \pm 0,07^{***}$	$3,00 \pm 0,28^{**}$
10	$23,36 \pm 0,45$	$25,85 \pm 0,48$	$5,68 \pm 0,32$	$37,89 \pm 0,49^*$	$2,87 \pm 0,27^{***}$	$4,35 \pm 0,51$
15	$23,28 \pm 0,23$	$27,50 \pm 0,44$	$4,71 \pm 0,25$	$38,14 \pm 0,34$	$3,39 \pm 0,23$	$2,99 \pm 0,22$
9-ий грудний хребець						
1	$30,75 \pm 0,25$	$23,78 \pm 0,21$	$9,74 \pm 0,23$	$31,96 \pm 0,38$	–	$3,77 \pm 0,19$
5	$29,28 \pm 0,17^{***}$	$24,89 \pm 0,17^{***}$	$8,19 \pm 0,11^{***}$	$35,13 \pm 0,15^{***}$	–	$2,51 \pm 0,31^{**}$
10	$27,44 \pm 0,15^{***}$	$23,99 \pm 0,15$	$7,41 \pm 0,12^{**}$	$37,38 \pm 0,17^{***}$	$0,35 \pm 0,15$	$3,43 \pm 0,21^*$
15	$25,19 \pm 0,18^{***}$	$24,58 \pm 0,22$	$6,64 \pm 0,14^{**}$	$37,55 \pm 0,19$	$0,74 \pm 0,22$	$5,29 \pm 0,44^*$

Примітка: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ порівняно з попередньою віковою групою

Таблиця 2. Динаміка відносної площі тканинних компонентів тимуса поросят (M ± m; n = 20), %

Вікова група, доба	Тканинний компонент			
	сполучно-тканинна строма	лімфоїдна тканина	кіркова зона	мозкова зона
Парна шийна частка				
1	11,82 ± 0,60	88,18 ± 0,60	68,74 ± 0,58	19,44 ± 0,36
5	11,00 ± 1,03	89,00 ± 1,03	65,84 ± 1,80	23,16 ± 0,92**
10	10,42 ± 0,37	89,58 ± 0,37	65,79 ± 0,95	23,78 ± 1,26
15	9,48 ± 0,97	90,52 ± 0,97	69,99 ± 2,32	20,53 ± 1,46
Грудна частка				
1	13,30 ± 0,72	86,70 ± 0,72	67,29 ± 0,55	19,41 ± 0,45
5	11,40 ± 1,56	88,60 ± 1,56	66,56 ± 1,48	22,05 ± 1,01*
10	10,83 ± 0,68	89,17 ± 0,68	66,51 ± 1,01	22,66 ± 1,68
15	14,28 ± 1,02*	85,72 ± 1,02*	68,93 ± 0,56	16,79 ± 0,55*

Примітка: див. табл. 1

тимуса утворює сітка ретикулярних волокон – найбільш численних на межі зон. У кірковій зоні вони виявлялися навколо судин і між ними, утворюючи середньо- і великовічкову сітку, а в мозковій – розміщувалися окремими волокнами, майже зникаючи в центрі.

У 5-добових поросят зміни паренхіматозних і стромальних компонентів в органах кровотворення – помірні, мають переважно кількісний характер. Абсолютна маса стегнової кістки зростає на 23,83%, тоді як 9-го грудного хребця – на 23,91%, а відносна – незначно зменшується порівняно з новонародженими. У стегновій кістці виявлялися всі осередки окостеніння, а в 9-му грудному хребці – лише діафізарний (епіфізи хрящові). Компактна кісткова тканина також була відсутня. Відносна площа осередків окостеніння стегнової кістки збільшувалася на 5,45%, а 9-го грудного хребця – на 1,87% відносно новонароджених тварин. Збільшення відносної площі червоного кісткового мозку (3,17–4,89%) і кісткової тканини (1,11–3,36%) та зменшення остеобластичного кісткового мозку (1,55–2,79%) і хрящової тканини (1,47–4,87%), що проявляється здебільшого в стегновій кістці, вказують на початок перетворення морфо-ембріональних структур у кісткових органах на морфофункціональні (табл. 1). Абсолютна маса тимуса зросла лише на 2,68%, тоді як відносна мала тенденцію до зменшення на 0,1%. В усіх часточках різних частин тимуса виявлялося збільшення відносної площі лімфоїдної тканини та зменшення сполучнотканинної строми на 0,82–1,9%. Крім того, відносна площа мозкової зони дещо зростала, а кіркової, навпаки, зменшувалася (див. табл. 2).

З віком, в органах кровотворення 10-добових поросят в органах кровотворення трансформація тканинних структур дещо сповільнювалася. Абсолютна маса стегнової кістки зросла на 25,2%, а 9-го грудного хребця – на 27,19%, тоді як відносна суттєво не змінилася, порівняно з 5-добовими тваринами. Особливості остеогенезу характеризуються попередньою кількістю раніше сформованих осередків окостеніння, але їх відносна площа збільшилася на 2,43%. У кісткових органах переважає дрібновічкова губчаста кісткова тканина. Структура компактної кісткової тканини стегнової кістки не мала суттєвих змін, а в 9-му грудному хребці на дорсальній і вентральній поверхнях тіла вона з'явилася вперше у вигляді смужки підвищеної рентгенщільності. Для динаміки тканинних компонентів стегнової кістки характерним є зменшення кількості остеобластичного та червоного кісткового мозку при одночасному зростанні відносної площі адипоцитів на 1,74%. У 9-му грудному хребці в

подальшому відносна площа остеобластичного кісткового мозку знижувалася і підвищувалася – червоного. У центрі діафізу вперше з'являються окремі жирові клітини (0,35 ± 0,15%), що вказує на початковий етап перетворення гемопоетичного кісткового мозку в жовтий. Кількість кісткової тканини, як структури мікрооточення для червоного кісткового мозку в кісткових органах, незначно зросла, тоді як хрящової – зменшилася. Структура органів лімфоцитопоезу також дещо змінюється. Абсолютна маса тимуса збільшилася на 16,71%, а відносна, навпаки, мала тенденцію до зменшення на 0,02%. Структурно-функціональні перетворення лімфоїдної паренхіми в різних частинах тимуса характеризувалися незначним її збільшенням за рахунок мозкової зони.

Зміни структури паренхіматозних і стромальних компонентів органів гемопоезу 15-добових поросят також були незначними. Абсолютна маса стегнової кістки збільшилася на 15,69%, тоді як 9-го грудного хребця – лише на 8,28%, а відносна – майже не змінилася порівняно з 10-добовими тваринами. У кісткових органах відбувалася подальша їх осифікація, що супроводжувалася збільшенням відносної площі раніше сформованих осередків окостеніння: у стегновій кістці – на 0,72%, 9-му грудному хребці – на 0,35%. Динаміка тканинних компонентів у кісткових органах відзначалася поступовим зростанням відносної площі червоного кісткового мозку та кісткової тканини. Відносна площа остеобластичного кісткового мозку та хрящової тканини при цьому зменшувалася. Абсолютна маса тимуса зросла на 0,45%, а відносна, навпаки, мала тенденцію до зменшення на 0,02%. У різних його частинах відносна площа лімфоїдної тканини знижувалася, а сполучнотканинної строми зростала. Межа між зонами стала більш чіткою, а в мозковій – зростала кількість тимусних тілець із добре вираженою шаруватістю.

Обговорення

Морфофункціональні особливості органів гемопоезу добо-вих поросят зумовлені їхнім організменним статусом – матурантністю (зрілорозродженістю) (Krishtoforova, 2005; Vajmishv et al., 2013).

Відомо, що у пренатальному періоді онтогенезу свині свійської енхондральний остеогенез має свої особливості, відбувається у певній послідовності. Абсолютна маса скелета зростає періодично, з максимальними значеннями наприкінці першої половини та протягом другої половини плідного періо-

ду онтогенезу. У різних відділах скелету поросят абсолютна маса змінюється асинхронно, тенденція зростання маси кісток осьового скелету має випереджаючий характер, а кісток скелету кінцівок, навпаки, тенденцію до зниження (Мутуї & Oliyar, 2014; Gavrilin et al., 2016; Мутуї, 2017). У жуйних ссавців усі основні та додаткові осередки окостеніння формуються в пренатальному періоді онтогенезу і теж мають свої особливості. Так, динаміка абсолютної маси скелета плодів великої рогатої худоби максимально зростає наприкінці першої та протягом останньої третини плідного періоду, а нерівномірність збільшення абсолютної маси різних відділів полягає в значному рості кісток скелету кінцівок порівняно з осьовим скелетом (Sosonnyi, 2012).

Нашими дослідженнями встановлено, що в новонароджених поросят досліджувані кістки (стегнова кістка і 9-й грудний хребець) скелету мають мінімальні морфометричні параметри, що узгоджується з даними інших дослідників (Gavrilin & Nykyforenko, 2005; Evert et al., 2018).

Протягом раннього постнатального періоду онтогенезу абсолютна маса кісткових органів збільшується, а їх відносна маса переважно зменшується, що властиво всім хребетним тваринам (Shmal'gauzen, 1984; Panikar et al., 2015; Tsyhykalo & Palis, 2018; Evert et al., 2018).

Відомо, що кісткові органи новонароджених утворені основними та додатковими осередками окостеніння, що формуються з хрящових моделей шляхом непрямого (хрящового) остеогістогенезу в пренатальний період (Volkova & Pekarshij, 1976; Baumgart et al., 2012; Szpinda et al., 2012; Araby et al., 2018). Динаміка збільшення відносної площі осередків окостеніння скоординована зі зростанням абсолютної маси кісткових органів. Осифікація скелету, тобто ступінь розвитку основних і додаткових осередків окостеніння, визначає формування кровотворної області, обумовлює гемопоетичну функцію кісткового мозку. Тому масштаби осифікації безпосередньо визначають остеогенний потенціал та гемопоетичну активність остебластичної та кровотворної форми кісткового мозку в скелеті загалом та в кожній окремій кістці (Mazhuga, 1978; Gavrilin et al., 2017).

Ріст і розвиток кісткового мозку прямо залежить від процесів енхондрального остеогістогенезу, в процесі якого разом з формуванням губчастої кісткової тканини, безпосереднім місцем його локалізації утворюється специфічне тканинно-клітинне мікрооточення (Gavrilin & Nykyforenko, 2005).

Дослідженнями виявлено, що кістковий мозок добових поросят чітко диференційований на остебластичний (кісткоутворювальний), червоний (гемопоетичний) і жовтий (жировий); локалізація і структура кожного з них визначається структурно-функціональними особливостями кісткової і хрящової тканин як компонентів кровотворного мікрооточення. Остебластичний кістковий мозок – це сукупність остеобластів, розташованих загалом на поверхні балок, червоний – кровотворних клітин та скупчень їх у центрі вічок, а жовтий – жирових.

Ступінь розвитку органів універсального гемопоезу зумовлює особливості структури тканин органів лімфоцитопоезу, серед яких найбільш анатомічно сформованим на момент народження є тимус. Протягом постнатального періоду онтогенезу орган активно функціонує, що підтверджується максимальними значеннями його морфометричних параметрів і мірою розвитку та співвідношенням його тканинних і клітинних компонентів (Liu & Ellis, 2016; Abaeva, 2017).

За результатами деяких досліджень у даний період життя можуть проявлятися і ознаки вікової інволюції тимуса, а саме зменшення загальної кількості лімфоїдної тканини за рахунок потоншення кіркової зони часточок, збільшення відносної площі сполучнотканинної строми із зростанням у ній адипоцитів і збільшенням кількості та розмірів тимусних тілець (Panikar et al., 2015; Vohr, 2016). Це може відбуватися під впливом гене-

тичних чинників або бути проявом впливу шкідливих факторів зовнішнього середовища (Olearo et al., 2012; Cao et al., 2018; Evert, 2018b).

У наших дослідженнях, тобто з 1-добового до 15-добового віку в поросят за традиційної технології утримання, у тимусі не було відмічено ознак початку вікової інволюції. Орган мав максимальні показники абсолютної маси, відносна площа лімфоїдної тканини та кіркової зони часточок поступово зростали, що вказує на високий морфофункціональний статус тимуса.

Висновки

У новонароджених і поросят неонатального періоду морфофункціональний статус центральних органів кровотворення та імунного захисту визначається співвідношенням паренхіматозних і стромальних тканинних компонентів, що впливає на реалізацію адаптивних можливостей і життєздатність тварин. У поросят цього періоду в органах універсального гемопоезу збільшується кількість червоного і жовтого кісткового мозку, а також кісткової тканини, зменшується – остебластичного кісткового мозку і хрящової тканини. У центральному органі лімфоцитопоезу – тимусі – відбувається збільшення лімфоїдної тканини.

References

- Abaeva, T. S. (2017). Osobennosti makro- i mikroskopicheskoy anatomii vilochkovoї zhelezy u detej rannego perioda detstva i u ljudej pozhilogo vozrasta [Features macro- and microanatomy of the thymus in the children of the early period of childhood and in the elderly people]. *Vestnik Kirgizsko-Rossijskogo Slavjanskogo Universiteta*, 17(10), 180–183 (in Russian).
- Araby, N., Soliman, S., Raheem, E. A., & Ahmed, Y. (2018). Morphogenesis of the sternum in quail embryos. *SVU-International Journal of Veterinary Sciences*, 1(1), 16–24.
- Avtandilov, G. G. (1990). *Medicinskaja morfometrija* [Medical morphometry]. Medicina, Moscow (in Russian).
- Bajmishev, H. B., Krishtoforova, B. V., Lemeshhenko, V. V., Hrustaleva, I. V., & Stegnej, Zh. G. (2013). *Biologicheskie osnovy veterinarnoj neonatologii: monografija* [Biological bases of veterinary neonatology: monograph]. RIC SGSHA, Samara (in Russian).
- Baumgart, M., Szpinda, M., & Szpinda, A. (2012). New anatomical data on the growing C4 vertebra and its three ossification centers in human fetuses. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 35(3), 191–203.
- Cao, W., Wu, X., Jia, G., Zhao, H., Chen, X., Wu, C., Cai, J., Wang, J. & Liu, G. (2018). Effects of dietary spermine supplementation on cell cycle, apoptosis, and amino acid transporters of the thymus and spleen in piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(8), 1325–1335.
- Evert, V. V., Gavrilin, P. M., & Lieshchova, M. O. (2018). Morphometric characterization of universal hematopoietic organs in piglets during postnatal adaptation. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 20(83), 13–18.
- Evert, V. V. (2018). Strukturno-funktsionalni kharakterystyky krovotvornykh komponentiv skeleta porosiat z oznakamy latentnoi ta subklinichnoi tsyrkovirusnoi infektsii II typu [Structural and functional characteristics of blood-forming components of pigs with signs of latent and subclinical porcine circovirus type II]. *News of Dnipro State Agrarian University*, 1–2(47), 98–107 (in Ukrainian).
- Evert, V. V. (2018). Structural-functional characteristics of thymus in piglets with signs of latent and subclinic PCV2-infection. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 20(88), 72–79.
- Gavrilin, P. M., Lieshchova, M. O., Evert, V. V., & Myrnyi, O. M. (2017). The structural and functional organization of piglets'

bone marrow. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 19(77), 32–37.

Gavrilin, P., Oliyar, A., & Myrnyi, O. (2016). Peculiarities of morphogenesis of universal hematopoiesis and immune protection in fetuses of domestic pig. *The Animal Biology*, 18(4), 30–34.

Gavrilin, P. & Nykyforenko, O. (2005). Osoblyvosti formuvannya oseredkiv hemopoezu v kistkakh porosyat u neonatal'nyy ta molochnyy periody [Peculiarities of a forming the center of haemopoiesis in the bones of the piglets in early postnatal ontogenesis]. *News of Dnipropetrovs'k State Agrarian University*, 2, 74–79 (in Ukrainian).

Kitagawa, Y., & Sakaguchi, S. (2016). Development of regulatory T Cells in the thymus. *Encyclopedia of Immunobiology*, 268–274.

Krishtoforova, B. (2005). Prioritetnye napravleniya issledovaniy v morfologii vo vzaimosvjazi s resheniem problemy povysheniya zhiznesposobnosti novorozhdennykh zhyvotnykh [The priority directions of morphological researches into decision of rise newborn animals viability problem]. *News of Dnipropetrovs'k State Agrarian University*, 2, 190–192 (in Russian).

Lin, H., Sohn, J., Shen, H., Langhans, M. T., & Tuan, R. S. (2018). Bone marrow mesenchymal stem cells: Aging and tissue engineering applications to enhance bone healing. *Biomaterials*.

Liu, D., & Ellis, H. (2016). The mystery of the thymus gland. *Clinical Anatomy*, 29(6), 679–684.

Mazhuga, P. M. (1978). Krovenosnye kapilljary i retikulojendotelial'naja sistema kostnogo mezga. *Naukova dumka, Kyiv* (in Russian).

Myrnyi, O. M. (2017). Regularities of organs of universal blood formation and immune protection in fetus of domestic swine. Extended abstract of candidate's thesis. *Kharkiv State Zooveterinary Academy, Kharkiv* (in Ukrainian).

Myrnyi, A. & Oliyar, A. (2014). Morphogenesis hematopoietic

components haematogenesis universal and immune protection of the domestic fetuses pig. *Science and Technology Bulletin of SRC for Biosafety and Environmental Control of AIC*, 2(1), 34–43.

Olearo, E., Oberto, M., Oggè, G., Botta, G., Pace, C., Gaglioti, P., & Todros, T. (2012). Thymic volume in healthy, small for gestational age and growth restricted fetuses. *Prenatal Diagnosis*, 32(7), 662–667.

Panikar, I. I., Horalskyi, L. P., & Kolesnik, N. L. (2015). Morfolohiia ta imunohistokhimiia orhaniv imunohenezu svynei u period postnatalnoi adaptatsii. Monohrafiia [Morphology and immunohistochemistry of the bodies of the immunogenesis of pigs in the period postnatal adaptation. Monograph]. *SPD Hlazonov, Poltava* (in Ukrainian).

Sosonnyi, S. V. (2012). Zakonomirnosti morfohenezu krovotvornykh komponentiv skeleta plodiv velykoyi rohatoyi khudoby. Extended abstract of candidate's thesis. *Kharkiv State Zooveterinary Academy, Kharkiv* (in Ukrainian).

Szpinda, M., Baumgart, M., Szpinda, A., Woźniak, A., Mila-Kierzenkowska, C., Dombek, M., Kosiński, A., & Grzybiak, M. (2013). Morphometric study of the T6 vertebra and its three ossification centers in the human fetus. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 35(10), 901–916.

Shmal'gauzen I. I. (1984). Rost i differencirovka. *Naukova dumka, Kyiv* (in Russian).

Tsyhykalo, O. V., & Palis, S. Y. (2018). Peculiarities of morphogenesis and variant anatomy of the mandible in human fetuses. *World of Medicine and Biology*, 14(66), 226.

Volkova, O.V. & Pekarskij, M.I. (1976). Jembriogenez i vozrastnaja gistologija vnutrennih organov cheloveka [Embryogenesis and age histology of internal organs of man]. *Medicina, Moscow* (in Russian).

Vohr, H. W. (eds). (2016). *Thymus Involution. Encyclopedia of Immunotoxicology*. Springer, Berlin, Heidelberg.