

Original researches

Morphogenesis of endochondral ossification centres of bones in racing pigeon chicks during the early postnatal period of ontogenesis

A. V. Oliyars, A. A. Bohomaz, V. V. Logvinova, M. O. Nikitina, M. A. Lieshchova
Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Received: 28 November 2021
Revised: 17 December 2021
Accepted: 26 December 2021

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

Tel.: +38-066-579-13-27
E-mail: oliiar.a.v@dsau.dp.ua

Cite this article: Oliyars, A. V., Bohomaz, A. A., Logvinova, V. V., Nikitina, M. O., & Lieshchova, M. O. (2021). Morphogenesis of endochondral ossification centres of bones in racing pigeon chicks during the early postnatal period of ontogenesis. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 9(4), 186–190. doi: 10.32819/2021.94028

Abstract. Racing pigeons are potential carriers of zoonanthropogenic diseases, since they can travel considerable distances during their flight. The study of the formation features of the pigeon skeleton's hematopoietic function on different levels of its structural organization with the determination of the relationship between the growth and development of hematopoietic components and the processes of osteohistogenesis is necessary to understand the immunity of pigeons, especially during the early stages of their development when young animals are in the greatest risk of disease, especially during processes of osteogenesis and haematopoiesis in chicks. The bones of the axial and peripheral skeleton of one-day-old, 5-, 10-, 15-, 20-, and 25-day-old pigeons ($n = 5$) were examined. The presence and degree of development of dia- and epiphyseal ossification centers (EOCs), their relative area (RA) and X-ray density in the organs of universal hematopoiesis were determined on radiographs made on an x-Ray-TW-102 x-ray machine with an Alpha 4600 receiver using the MultiVox Dicom Viewer program. It was established that in day-old pigeons the rudiments of the studied bones are completely built by cartilaginous tissue, have low radiographic density, and fuzzy contours on radiographs. On the 10th day of life, the axial skeleton of pigeon chicks has formed EOCs of head and a tubercle on the 5th rib (third «true rib»), while in the bones of the peripheral skeleton there is an endochondral EOC of the diaphysis. The spongy and compact bone structure (BS) of the bones were fuzzy. The body of the rib and the epiphyses of the limbs' tubular bones were cartilaginous. The X-ray density of the humerus at this age remains unchanged, and the tibial-metatarsal increases by 1.5 times, reaching 12 HU. In 15-day-old chicks, the RA of the EOC in the skeleton was moderately increased due to an increase in the RA of previously formed EOCs at the age of 10 days, the appearance of individual EOCs in the body of 5th rib, and in the tubular bones of the limbs, the endochondral EOCs of the proximal and distal epiphyses. In the diaphysis of the extremities tubular bones, a strip-like compact BS was clearly distinguished, and in the epiphyses, a small-sized spongy BS. The X-ray density of the bones almost doubled, reaching 19–21 HU. In 20-day-old pigeons, the processes of osteohistogenesis in the skeleton were almost completed, in the studied bones, all the main and additional EOCs were well expressed, their RA increased sharply. X-ray density of bones did not change. For 25-day-old pigeons in the skeleton, there was a slight increase in RA of the EOC, a process of complete synostosis of the bones was characteristic. From the moment of the appearance of the EOC in 10-day-old chicks until they reach the age of 25 days, the bones of the axial skeleton and the skeleton of the limbs were formed by 95–100% of BS, and their X-ray density was increased almost 2.5 times, reaching 19–26 HU.

Keywords: organs of hemo- and lymphopoiesis; skeleton; bones; basic and additional centers of ossification; X-ray density; bone tissue; racing pigeons; chicks

Морфогенез енхондральних осередків окостеніння кісток пташенят спортивних голубів у ранньому постнатальному періоді онтогенезу

A. V. Олійар, А. А. Богомаз, В. В. Логвінова, М. О. Нікітіна, М. О. Лещова
Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

Анотація. Спортивні голуби є потенційними переносниками зооантропонозних захворювань, оскільки під час перельоту можуть долати значні відстані. Дослідження особливостей становлення кровотворної функції скелета голубів на різних рівнях його структурної організації з визначенням взаємозв'язків росту й розвитку гемопоетичних компонентів з процесами остеогістогенезу необхідне для вивчення імунітету голубів, особливо на ранніх стадіях їх розвитку під час найбільшого ризику захворюваності молодянку, в момент найактивніших процесів кісткоутворення та гемопоезу пташенят. Досліджували кістки осьового та периферійного скелету добових, 5-, 10-, 15-, 20- та 25-добових голубенят ($n = 5$). Наявність і ступінь розвитку діа- та епіфізарних осередків окостеніння (ООК), їх відносну площу (ВП) та рентгенщільність в органах універсального гемопоезу визначали на рентгенограмах, виготовлених на рентгенологічному апараті xRay-TW-102 з приймачем Alpha 4600. Оцінку показників кісткових органів на рентгенограмах здійснювали за допомогою програми MultiVox Dicom Viewer. Встановили, що в добових голубенят зачатки досліджуваних кісток повністю побудовані хрящовою тканиною, мають низьку рентгенщільність і на рентгенограмах нечіткі контури. У пташенят спортивних голубів

5-ти діб життя скелет представлений чітко вираженими хрящовими зачатками, які мають форму майбутніх кісток, оформлених ООК у них не виявляється, рентгенщільність їх низька. На 10-ту добу життя голубенят в осьовому скелеті з'являються оформлені ООК голівки та горбка в 5-му ребрі (третє справжнє), тоді як у кістках периферійного скелета – енхондральний ООК діафіза. Структура губчастої і компактною кісткової тканини (КТ) кісток не чітка. Тіло ребра та епіфізи трубчастих кісток кінцівок хрящові. Рентгенщільність плечової кістки в цьому віці залишається незмінною, а великогомілково-заплексової – збільшується в 1,5 рази, досягаючи 12 НУ. У 15-ти добових пташенят ВП ООК у скелеті помірно зростає за рахунок збільшення ВП раніше сформованих ООК у 10-добовому віці пташенят, появи в 5-му ребрі окремих ООК тіла, а в трубчастих кістках кінцівок – енхондральних ООК проксимального і дистального епіфізів. У діафізі трубчастих кісток кінцівок чітко виділяється смужкоподібна компактна КТ, а в епіфізах – дрібновічкова губчаста КТ. Рентгенщільність кісток збільшується майже вдвічі, досягаючи 19–21 НУ. У 20-ти добових пташенят у скелеті процеси остеогенезу майже завершуються, в досліджуваних кістках всі основні та додаткові ООК добре виражені, їх ВП різко зростає. Рентгенщільність кісток не змінюється. Для 25-добових голубів у скелеті спостерігається незначне зростання ВП ООК, характерний процес повного синостозу кісткових органів. З моменту появи ООК у 10-добових пташенят до досягнення ними 25-добового віку кістки осьового скелету та скелету кінцівок на 95–100% утворені КТ, а рентгенщільність їх зростає майже в 2,5 рази, досягаючи 19–26 НУ.

Ключові слова: органи гемо- і лімфопоезу; скелет; кістки; основні і додаткові осередки окостеніння; рентгенщільність; кісткова тканина; спортивні голуби; пташенята

Вступ

Голуби завжди утримувались у господарствах людей для їжі або в якості поштарів. Згодом, потреба в поштових голубах зникла, але, натомість, набуло розвитку спортивне голубівництво. Оскільки спортивні голуби під час змагань долають значні відстані, вони є потенційними переносниками зооантропонозних захворювань. Тому дослідження структурних компонентів кісток, що приймають участь у кровотворенні та імунному захисті, забезпеченні структурного гомеостазу і зумовлюють ріст, розвиток та життєздатність організму птиці, є актуальними.

На сьогодні, при дослідженні кісток скелета як органів універсального гемопоезу у лабораторних та продуктивних тварин встановлено, що кровотворні клітини, клітини строми кісткового мозку, судини мікроциркуляторного русла, а також кісткова та хрящова тканини утворюють цільну структурно-функціональну систему, більшість клітинних компонентів якої розвиваються з єдиної стовбурової клітини – загального попередника кісткових та кістковомозкових механоцитів (Sapin & Etingen, 1996; Adler, 2006; Rabson et al., 2006).

Осифікація скелету, тобто ступінь розвитку діа-, епі та апофізарних осередків окостеніння, визначає особливості формування кровотворної ділянки і зумовлює гемопоетичну функцію кісткового мозку. Тому масштаби окостеніння безпосередньо визначають кісткоутворювальний потенціал і кровотворну активність остеобластичного та гемопоетичного кісткового мозку в скелеті загалом і в кожній окремій кістці (Baumgart et al., 2012; Skórzewska et al., 2013; Szpinda et al., 2012; Szpinda et al., 2013a, 2013b; Araby et al., 2018).

Водночас, інформація щодо структурно-функціональної організації кісткового мозку та компонентів кровотворного мікрооточення в осередках окостеніння птиці залежно від стадії та ступеню розвитку, а також дані про взаємозв'язок кількісних характеристик різних структур кісткового мозку поодинока та розрізнені (Krishtoforova & Stegnej, 2013).

Дослідження особливостей становлення кровотворної функції скелета голубів на різних рівнях його структурної організації з визначенням взаємозв'язків росту й розвитку гемопоетичних компонентів з процесами остеогенезу необхідне для вивчення імунітету голубів, особливо на ранніх стадіях їх розвитку під час найбільшого ризику захворюваності молодняку, в момент найактивніших процесів кісткоутворення та гемопоезу пташенят (Shatkovska, 2001; Zinoviev, 2010).

Мета – з'ясувати особливості морфогенезу осередків окостеніння кісткових органів пташенят спортивних голубів у ранньому постнатальному періоді онтогенезу, його взаємозв'язок з організаційним статусом.

Матеріал та методи досліджень

Роботу виконували на кафедрі нормальної і патологічної анатомії сільськогосподарських тварин і в клініко-діагностичному центрі «Rancho» Дніпровського державного аграрно-економічного університету (Україна). Матеріал відбирали від клінічно здорових, не імунізованих пташенят спортивних голубів, вирощених в умовах віварію факультету ветеринарної медицини ДДАЕУ. Досліджували кістки осьового (5-е ребро) та периферійного скелету (коракоїдна, плечова, стегнова, великогомілково-заплексова, заплексно-плеснова) добових, 5-, 10-, 15-, 20- та 25-добових голубенят ($n = 5$). Маса тіла пташенят, її динаміка відповідали віку. Наявність і ступінь розвитку діа- та епіфізарних ООК, їх ВП та рентгенщільність в органах універсального гемопоезу визначали на рентгенограмах, виготовлених на рентгенологічному апараті xRay-TW-102 з приймачем Alpha 4600. Оцінку показників кісткових органів на рентгенограмах здійснювали за допомогою програми MultiVox Dicom Viewer.

Отримані результати досліджень статистично оброблені, дані представлені у вигляді середніх значень (\bar{x}) та їх стандартних відхилень (SD).

Результати

Встановили, що в добових голубенят зачатки досліджуваних кісток повністю побудовані хрящовою тканиною, мають низьку рентгенщільність і на рентгенограмах нечіткі контури.

У пташенят спортивних голубів 5-ти діб життя скелет представлений чітко вираженими хрящовими зачатками, які мають форму майбутніх кісток, оформлених ООК у них не виявляється (рис. 1). Рентгенщільність їх низька і неоднакова. Так, плечової кістки складає 11 НУ (умовні одиниці Хаунсфілда), а великогомілково-заплексової – досягає 8 НУ.

На 10-ту добу життя голубенят в осьовому скелеті з'являються оформлені ООК голівки та горбка в 5-му ребрі (третє справжнє), тоді як у кістках периферійного скелета – енхондральний ООК діафіза. ВП ООК 5-го ребра складає $57,8 \pm 1,3\%$, а в трубчастих кістках кінцівок коливається від $75,6 \pm 1,05\%$ у великогомілково-заплексовій кістці до $77,3 \pm 0,85\%$ - у плечовій кістці (табл. 1). Структура губчастої і компактною КТ кісток не чітка. Тіло ребра та епіфізи трубчастих кісток кінцівок хрящові. Рентгенщільність плечової кістки в цьому віці залишається незмінною, а великогомілково-заплексової – збільшується в 1,5 рази, досягаючи 12 НУ.

У 15-ти добових пташенят ВП ООК у скелеті помірно зро-

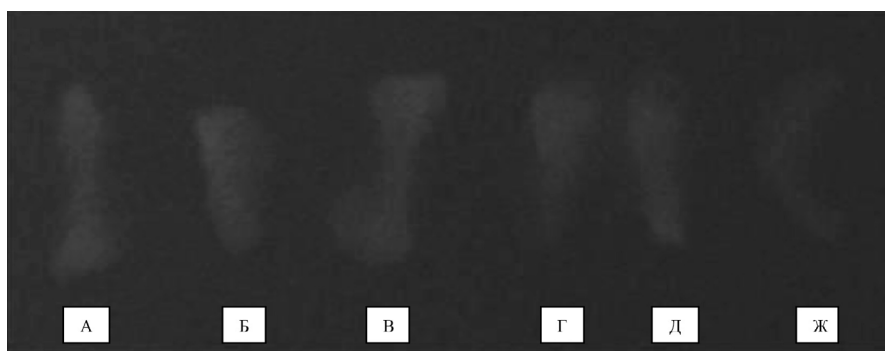


Рис. 1. Рентгенограма кісток скелета 5-ти добового голубеняти: А – коракоїдна кістка, Б – плечова кістка, В – стегнова кістка, Г – великогомілково-заплеснова кістка, Д – заплесново-плеснова кістка, Ж – 5-е ребро.

Таблиця – Динаміка ВП ООК деяких кісткових органів голубенят (s ± SD; n = 5)

Кістки скелета	Вік, дб					
	Доба	5	10	15	20	25
5-е ребро	-	-	57,8 ± 1,3	66,4 ± 0,57	82,2 ± 0,48	95,8 ± 0,34
Коракоїдна	-	-	76,4 ± 0,98	81,1 ± 0,67	99,1 ± 0,52	99,6 ± 0,34
Плечова	-	-	77,3 ± 0,85	80,2 ± 0,59	99,8 ± 0,30*	99,8 ± 0,30
Стегнова	-	-	76,9 ± 0,89	80,5 ± 0,61	99,3 ± 0,38	99,7 ± 0,29
Великогомілково-заплеснова	-	-	75,6 ± 1,05	93,7 ± 0,62*	99,4 ± 0,45	99,6 ± 0,31
Заплесново-плеснова	-	-	75,8 ± 1,01	84,7 ± 0,98	99,8 ± 0,49	99,9 ± 0,36

Примітка: * – P < 0,05, порівняно з попередньою віковою групою.

стає за рахунок збільшення ВП раніше сформованих ООК у 10-добовому віці пташенят, появи в 5-му ребрі окремих ООК тіла, а в трубчастих кістках кінцівок – енхондральних ООК проксимального і дистального епіфізів. У діафізі трубчастих кісток кінцівок чітко виділяється смужкоподібна компактна КТ, а в епіфізах – дрібновічкова губчаста КТ (рис. 2). Сумарна ВП ООК 5-го ребра збільшується на 8,6%, серед кісток кінцівок найбільше зростає у великогомілково-заплесновій – на 18,1%, а найменше в плечовій – на 2,9%. Рентгенщільність кісток збільшується майже вдвічі, досягаючи 19-21 НУ.

У 20-ти добових пташенят у скелеті процеси остеогістогенезу майже завершуються, в досліджуваних кістках всі основні та додаткові ООК добре виражені, їх ВП різко зростає. Так, у 5-му ребрі ВП ООК збільшується на 15,8%, серед кісток кінцівок у середньому на 5,7–19,6%. Рентгенщільність кісток не змінюється.

Для 25-добових голубів у скелеті спостерігається зростання ВП ООК 5-го ребра на 13,6%, тоді як у кістках кінцівок лише незначна тенденція до збільшення на 0,1-0,5%. Для птиці цього віку характерний процес повного синостозу кісткових органів (рис. 3). З моменту появи ООК у 10-добових пташенят до

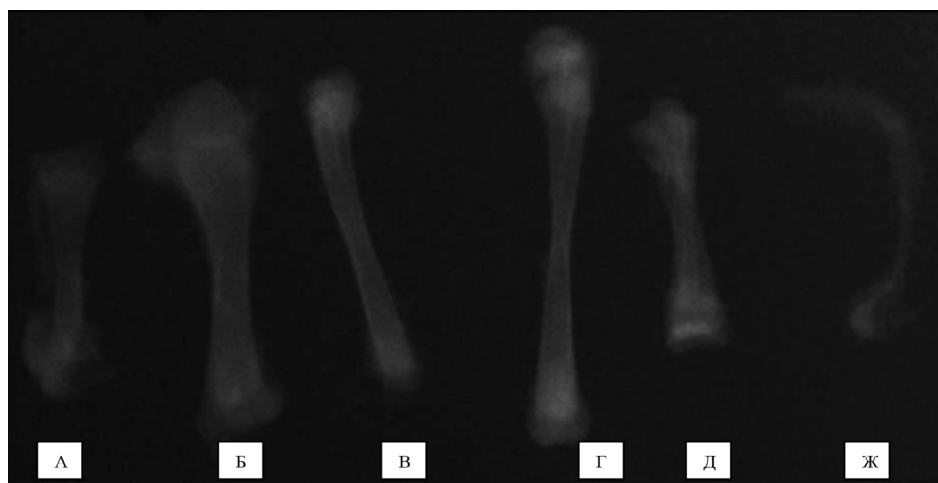


Рис. 2. Рентгенограма кісток скелета 15-ти добового голубеняти: А – коракоїдна кістка, Б – плечова кістка, В – стегнова кістка, Г – великогомілково-заплеснова кістка, Д – заплесново-плеснова кістка, Ж – 5-е ребро.

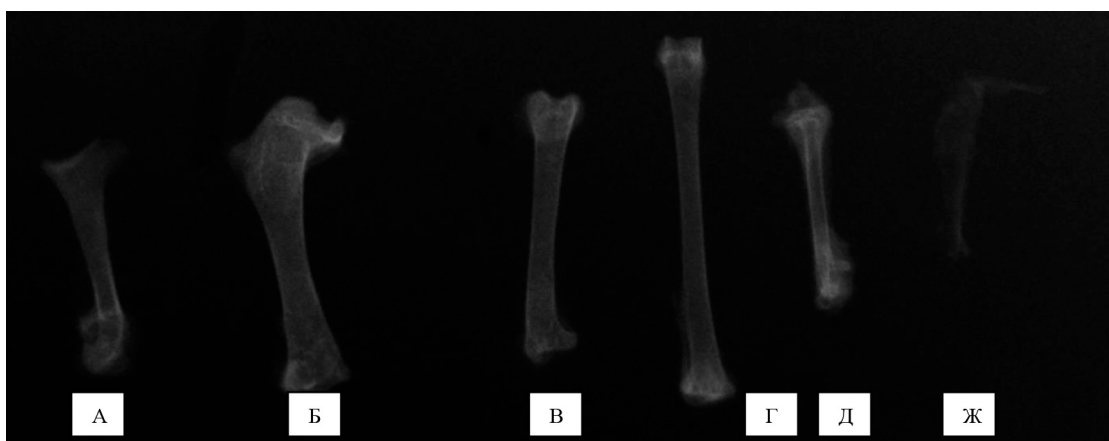


Рис. 3. Рентгенограма кісток скелета 25-ти добового голубеняти: А – коракоїдна кістка, Б – плечова кістка, В – стегнова кістка, Г – великомілково-заплезнова кістка, Д – заплезново-плезнова кістка, Ж – 5-е ребро.

досягнення ними 25-добового віку кістки осьового скелету та скелету кінцівок на 95–100% утворені КТ, а рентгенщільність їх зростає майже в 2,5 рази, досягаючи 19–26 НУ.

Обговорення

Морфофункціональні особливості органів гемо- і лімфопоезу птахів і ссавців у ранньому постнатальному періоді онтогенезу визначаються організменним статусом – матуронатністю та іматуронатністю і залежать від становлення їх у пренатальному періоді онтогенезу та особливостей адаптивних змін, зумовлених заміщенням ембріональних структур на функціональні (Krishtoforova, 2005; Bajmishev et al., 2013).

Однієї з основних особливостей будови кісткової системи новонароджених зрілонароджуючих (матуронатних) ссавців є висока ступінь осифікації в пренатальному періоді онтогенезу (Sosonnyi, 2012; Gavrilin et al., 2016). На момент народження в телят і поросят у кістках скелета виявляються основні (діафізарні) та додаткові (епі- та апофізарні) ООК (Gavrilin & Nykyforenko, 2005; Gavrilin et al., 2016; Oliiar & Lieshchova, 2019; Oliiar et al., 2020). За даними Grabchak (2000) апофізарний ООК більшого вертлюга вказує на особливість пренатального остеогенезу і може бути одним з критеріїв морфофункціональної оцінки кісткової системи, що визначає життєздатність неонатальних тварин.

У незрілонароджуючих (іматуронатних) добових цуценят у кістках виявляються лише основні (діафізарні) ООК, а додаткові (епіфізарні) – з'являються лише у віці 10-20 діб. Апофізарні ООК кісток відсутні навіть у 40-добових тварин (Snetkova, 2010). На думку Криштофорової (2005) наявність чималої кількості хрящової тканини у кісткових органах незрілонароджуючих добових тварин є підставою неможливості реалізації ними стативи в перші години життя.

Розподіл птаці за типом розвитку заснований на комбінації морфологічних та етологічних ознак пташенят, які вилупилися. За даними Starck & Ricklefs (1998) виводкова (матуронатна) птаця вилуплюється зряча, вкрита пуховим покривом і незабаром після вилуплення здатна шукати корм самостійно, а нагніздна (іматуронатна) – вилуплюється гола, сліпа і вигодовується батьками в гнізді.

З огляду на це, в курчат, як представників виводкової птаці, на момент вилуплення в кісткових органах виявляються діафізарні ООК (Krishtoforova, 2005; Krishtoforova & Stegnej, 2013). Проте, додаткові епі- та апофізарні ООК у свійської птаці не з'являються навіть у 60 діб.

За результатами наших досліджень, у голубенят, як представників нагніздної птаці, від вилуплення до досягнення 5-добового віку, скелет повністю хрящовий, а діафізарні ООК вперше з'являються в кістках у 10-добовому віці. Проте, на відміну від курчат, вже в 15-добових голубенят виявляються епіфізарні ООК, а в 25 діб відбувається повне скостеніння кісток скелета (Bogomaz et al., 2016).

Доволі пізня поява ООК у кістках скелету нагніздної птаці (голуби) в постнатальному періоді онтогенезу вказує на низьку ступінь їх пренатального остеогенезу, оскільки протягом ембріонального розвитку в них виявляється лише хрящова тканина, на відміну від виводкової птаці (кури, гуси, качки), процеси осифікації у яких починаються ще до вилуплення. Недорозвинення органів локомоції у нагніздної птаці обмежує рухливість пташенят, сприяючи утриманню в гнізді до становлення на крило і є складовою частиною адаптації (Kovtun & Shatkovskaya, 2011).

Проте, незважаючи на пізню появу перших ООК у скелеті в постнатальному періоді онтогенезу в пташенят спортивних голубів, у кісткових органах все ж спостерігаються швидкі темпи росту кісткової тканини, на що вказує інтенсивне зростання їх рентгенщільності. Це, ймовірно, пов'язано з тим, що голуби, як нагніздна (незрілонароджуюча) птаця, потребують «стати на крило» вже на 30-ту добу життя.

Відомо, що остеогістогенез тісно взаємопов'язаний із становленням кровотворної та імунологічної функції кісткових органів (Gavrilin, 2000; Gavrilin et al., 2016). З огляду на це, у пташенят спортивних голубів розподіл кісткового мозку в ранньому постнатальному періоді онтогенезу нерівномірний: спочатку максимальний гемопоетичний потенціал сконцентрований у кістках осьового скелета, далі – здебільшого у скелеті кінцівок у зв'язку із посиленими темпами росту останнього, наприкінці – процеси кровотворення майже рівномірно розподіляються між кістками осьового та периферійного скелета (Bogomaz et al., 2016).

Висновки

У пташенят спортивних голубів від вилуплення до 5-ти добового віку скелет повністю хрящовий, основні (діафізарні) та додаткові (епіфізарні) ООК не виявляються. Діафізарні ООК вперше з'являються в кістках 10-ти добових, тоді як епіфізарні – 15-ти добових пташенят, з віком спостерігається збільшення їх ВП, досягаючи повного синостозу в 25 діб життя. Рентгенщільність кісток скелета з моменту вилуплення до досягнення голубенятами 25-добового віку збільшується майже вдвічі.

References

- Adler, C. (2006). Bones and bone tissue. Normal anatomy and histology. Bone Diseases. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: New York, 1–30.
- Araby, N., Soliman, S., Abdel Raheem, E., & Ahmed, Y. (2018). Morphogenesis of the Sternum in Quail Embryos. *SVU-International Journal of Veterinary Sciences*, 1(1), 16–24.
- Bajmishchev, H. B., Krishtoforova, B. V., Lemeshenko, V. V., Hrustaleva, I. V. & Stegnej, Zh. G. (2013). Biologicheskie osnovy veterinarnoj neonatologii: monografiya [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.
- Bogomaz, A., Oliyar, A. & Shuleshko, O. (2016). Features development dynamics of bone morphometric parameters in pigeons of sports rocks in the early postnatal period of ontogenesis. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 4(2), 13–17 (in Ukrainian).
- Gavrilin, P. (2000). Strukturno-funkcionalni osoblyvosti organiv krovotvorennja teljat neonatalnogo i molochnogo periodiv. Extended abstract of doctor's thesis. Kharkiv Zooveterinary institute, Kharkiv (in Ukrainian).
- Gavrilin, P., Gavrilina, O., & Peretyatko, O. (2016). Structural and functional characteristics of bone marrow and components of the hematopoietic microenvironment in the centers of enchondral osteogenesis of the skeleton of newborn calves. *Problems of Zooengineering and Veterinary Medicine*, 32(2), 283–288 (in Ukrainian).
- Gavrilin, P., & Nykyforenko, O. (2005). Osoblyvosti formuvannya osередkiv 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 Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 74–79 (in Ukrainian).
- 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.
- Grabchak, Zh. G. (2000). Morfofunkcionalnye osobennosti bedrennykh kostej neonatalnykh telyat [Morphofunctional features of the femurs of neonatal calves]. *Veterinary Medicine: Interdepartmental Themed Science Compilation*, 77, 106–111 (in Ukrainian).
- Kovtun, M. F., & Shatkovskaya, O. V. (2011). Vozniknovenie modeli ptencovogo razvitiya u ptic: k probleme evoljucii ontogeneza [The origin of the model of chick development in birds: to the problem of evolution of ontogeny]. *Vestnik Zoologii*, 45(2), 161–171 (in Ukrainian).
- Krishtoforova, B. (2005). The priority directions of morphological researches into decision of rise newborn animals viability problem. *News of Dnipropetrovsk State Agrarian University*, 2, 190–192 (in Ukrainian).
- Krishtoforova, B. V., & Stegnej, Zh. G. (2013). Morfologichni osoblyvosti okremykh kistkovykh organiv kurchat [Morphological characteristics of individual bone of chicks]. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 15, 1(55), 1, 331–336 (in Ukrainian).
- Oliyar, 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.
- Oliyar, A., Lieshchova, M., & Logvinova, V. (2020). Morphogenesis of the centers of ossification of bone organs of piglets in the early postnatal period of ontogenesis. *Naukovij Visnik Veterinarnoi Medicini*, 1(154), 113–120.
- Rabson, A., Rojt, A., & Delvz, P. (2006). *Osnovy medicinskoj immunologii [Fundamentals of Medical Immunology]*. Moscow, Mir (in Russian).
- Sapin, M. R., & Etingen, L. E. (1996). *Imunnaya sistema cheloveka [Human immune system]*. Moscow, Medicine (in Russian).
- Shatkovska, O. V. (2001). Formuvannya skeleta kincivok v embriogenezi nagniznyh ta vyvodkovykh ptahiv. Extended abstract of candidate's thesis. Schmalhausen Institute of Zoology of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv (in Ukrainian).
- Skórzewska, A., Grzymisławska, M., Bruska, M., Łupicka, J., & Woźniak, W. (2013). Ossification of the vertebral column in human fetuses: histological and computed tomography studies. *Folia Morphologica*, 72(3), 230–238.
- Snetkova, P. O. (2010). Morfofunkcionalni osoblyvosti kistkovoï systemy sobak neonatalnogo ta molochnogo periodiv. Extended abstract of candidate's thesis. National university bioresource and environmental management of Ukraine, Kyiv (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).
- Starck, J. M., & Ricklefs, R. E. (1998). *Evolution within the altricial-precocial spectrum*. New York: Oxford university press.
- Szpinda, M., Baumgart, M., Szpinda, A., Woźniak, A., Małkowski, B., Wiśniewski, M., & Króliczewski, D. (2012). Cross-sectional study of the ossification center of the C1–S5 vertebral bodies. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 35(5), 395–402.
- Szpinda, M., Baumgart, M., Szpinda, A., Woźniak, A., Mila-Kierzenkowska, C., Dombek, M., & 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.
- Szpinda, M., Baumgart, M., Szpinda, A., Woźniak, A., & Mila-Kierzenkowska, C. (2013). New patterns of the growing L3 vertebra and its 3 ossification centers in human fetuses – a CT, digital, and statistical study. *Medical Science Monitor Basic Research*, 19, 169–180.
- Zinoviev, A. V. (2010). Sravnitel'naja anatomija, strukturnye preobrazovanija i adaptivnaja jevoljucija aparata dvunogoj lokomocii ptic [Comparative anatomy, structural transformations and adaptive evolution of the apparatus of bipedal locomotion in birds]. Moscow: KMK Scientific Publishing Association (in Russian).