

УДК 636.52/.58:612.11

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОБЛЕМАТИКИ МОРФОФИЗИОЛОГИИ
КЛЕТОК КРОВИ НЕОНАТАЛЬНОГО ОНТОГЕНЕЗА КУР.
СООБЩЕНИЕ I. ОСОБЕННОСТИ ПОСТЭМБРИОНАЛЬНОГО
КРОВЕТВОРЕНИЯ, РАЗЛИЧИЯ В ПОДХОДАХ И ПРОБЛЕМАТИКА
МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА КРОВИ ПТИЦ (ОБЗОР)**

Е. А. Колесник, М. А. Дерхо

Представлен обзор комплекса отличий алгоритмов научных школ в морфологии и морфофункциональном анализе картины периферической крови птиц постнатального онтогенеза. Охарактеризованы особенности кроветворения бройлерных кур *Gallus gallus* (L.) раннего периода онтогенеза после рождения. Обсуждается классификация и причины различий в номенклатуре форменных элементов крови птицы в сравнительном аспекте с млекопитающими животными.

Ключевые слова: морфология крови, эритробласты, эритропоэз, гемоцитопоэз, гетерофилы, псевдоэозинофилы, эозинофилы, лимфоциты, моноциты, тромбоциты, куры.

Как отмечает Pete Kaiser [1], внимание авторов в вопросах общей биологии и ветеринарной медицины акцентируется вокруг организма кур *Gallus gallus* (L.), в качестве «биомедицинской модели» при изучении врожденного иммунитета позвоночных животных, исследовании «адаптивного иммунного ответа» [1].

По словам В.Н. Никитина, морфофизиологический анализ крови, наряду с биохимическим изучением, является наиболее тонким и объективным средством суждения о состоянии исследуемого организма [2, с. 3].

Новыми работами было показано, что гранулоциты крови у разных видов позвоночных животных, в том числе человека, используют

сходные, опосредованные фагоцитозом механизмы, ведущие из которых – комплексные «нейтрофильные внеклеточные сети», интегрирующие окислительный взрыв, дегрануляцию и декатионизацию цитоплазматических гранул с высвобождением антимикробных протеинов, обеспечивающие в итоге эффективное выполнение «клеточно-опосредованного адаптивного иммунного ответа» [1; 3–5].

Так, в последние годы было установлено, что ядерные белки – гистоны в реактивном комплексе с эластазой, дефенсинами и другими ферментными и неферментными катионными протеинами из цитоплазматических гранул полиморфноядерных лейкоцитов (ПМЯЛ)

образуют *in vitro* и *in vivo* «гетерофильные внеклеточные сети» («chicken heterophil extracellular traps») врожденного иммунитета в крови птицы [1; 3; 5]. Chuammitri P. et al. [3] отмечают, что в настоящее время «гетерофильные внеклеточные сети» характеризуются как важный «гетерофильно-опосредованный» [3] иммунный механизм защиты у кур [3].

Вместе с тем, во многом в вопросах морфофизиологического анализа картины крови клинической характеристики форменных элементов красной и белой крови птиц отсутствуют единые подходы и алгоритмы.

Имеются существенные различия в пространственных подходах в номенклатуре и морфофункциональной характеристике картины крови в работах зарубежных и отечественных авторов. Это объяснимо весьма сложной гистологией крови птиц в сравнении с млекопитающими, в том числе существенными особенностями морфологии крови птенцов, а также историческим развитием научных школ.

В связи с этим **целью работы** явился обзор проблематики различий подходов в морфофункциональном анализе и номенклатуре клеток периферической крови бройлерных кур раннего периода онтогенеза после рождения.

Результаты и обсуждение

Постэмбриональное кроветворение птиц (*Aves*) значительно отличается от гемопоэза млекопитающих (*Mammalia*), у птиц не выделяют четкого подразделения кроветворения на миелоидные и лимфоидные системы [6, с. 58]. А.А. Заварзин (А.А. Заварзин, 1953, из: [6, с. 58]) подчеркивает, что гемоцитопоэз во взрослом организме птиц морфологически и функционально во многом подобен эмбриональному кроветворению. Авторы [6] отмечают, что присутствие в периферической крови эритробластов является характерной особенностью постнатального развития птиц [6, с. 69]. В крови цыплят к первым суткам после вылупления циркулируют до 14% эритробластов от общего количества форменных элементов [6, с. 69]. Циркуляция эритробластов в крови цыплят продолжается до достижения трехмесячного возраста [6, с. 69]. Максимальная напряженность эритропоэза у цыплят приходится на конец первой недели [6, с. 69], что сопоставимо и обусловлено началом критических возрастных периодов в развитии птенцов [7–11].

В отечественной ветеринарно-медицинской литературе по эритропоэзу в наименовании клеток прекурсоров наблюдается некоторая неопределенность, фактически уравниваются эритробласты и нормобласты [6, с. 54–61; 12].

Необходимо обратить внимание на то, что в гематологии гуманной медицины не ставят знака равенства между эритробластами и нормобластами [13, с. 108–112]. Нормобласты выделяют как клетки последующих стадий развития эритробластов и в частности полихроматофильных эритробластов [13, с. 108–112].

Следствием данной ситуации является то, что нередко в публикуемых источниках ветеринарной медицины также отсутствует четкое подразделение на бластные и собственно клеточные форменные элементы в картине эритропоэза. К примеру, синонимизируются нормобласты и нормоциты [6, 12].

Хотелось бы подчеркнуть важность градации в наименовании клеток предшественников эритроцитов на первичные бластные (от греч. «*blastos*» – росток, зародыш) и последующие, собственно клеточные (от греч. «*cytos*» – клетка) формы [6, 13], в связи с тем, что бластные кровяные клетки являются активно пролиферирующимися, то есть размножающимися митозом клетками [6, с. 27, с. 54–61, с. 70; 13]. Кроме того, структура ядра, протоплазмы и форма у клеток «-бластов» и «-цитов» существенно различна. Бластные (с окончанием «-бласты») клетки округлой формы, с ядром, нередко имеющим хроматиновый рисунок той или иной стадии митоза, тогда как собственно клеточные формы предшественников эритроцитов (с окончанием «-циты») чаще всего имеют форму и ядро, по своей структуре близкое к зрелым эритроцитам [13, с. 108–111].

В зарубежной литературе ветеринарной медицины распространена схема гемопоэза, в которой группы клеток предшественников в эритропоэзе именуют не с приставкой «эритро-», а с «рубри-» («*rubri*-»), соответственно: «рубрибласт – прорубрициты – рубрициты (базофильные – полихроматофильные) – метарубрициты – ретикулоциты – эритроциты» [14, с. 38–42, с. 247, см. рис. «В», с. 249, см. рис. «А»; 15, с. 181; 16–18]. Некоторые авторы [19] синонимизируют систему эритропоэза, с наименованием клеток предшественников эритроцитов, с приставкой «рубри-» и «эритро-».



Проблематика морфологической классификации гранулоцитов у птиц имеет исторические корни. Первоначальные схемы (прописи, протоколы) окрашивания мазков крови, предложенные П. Эрлихом и Д.Л. Романовским, давали общие картины, позволяющие проводить морфологическую дифференцировку по основным крупным известным критериям [2; 13].

Поэтому изначально зернистые лейкоциты у птиц подразделяли только на эозинофильные и базофильные лейкоциты [2, с. 12, 47; 6, с. 62]. В этом кроется корень дальнейших многих «нестыковок» и трактований классификации морфологии гранулоцитов крови птиц в литературе, проявляющихся при попытках сведения к единой схеме гемоцитопоза млекопитающих и птиц, то есть при принятии за основу наиболее известной схемы гемоцитопоза у млекопитающих [12; 13].

В России и странах бывшего СССР по литературе в подавляющем большинстве источников нейтрофилы птиц именуют псевдоэозинофилами [6, 8] в связи с тем, что среди зрелых форм гранулоцитов, имеющих гранулы, которые воспринимают эозинофильную окраску, в основном образуются лейкоциты с округлыми гранулами (эозинофилы) и в противоположность им – палочковидными гранулами. Казаиновым (из: [6, с. 62]) было предложено наименовать гранулоциты с палочковидной зернистостью, воспринимающие эозиновую окраску, «псевдоэозинофильными лейкоцитами» или псевдоэозинофилами.

При этом в зарубежных источниках, в том числе достаточно авторитетных, гранулярные полиморфноядерные лейкоциты птиц, не относимые к эозинофилам и базофилам, называют гетерофилами [1; 3; 14; 15; 18; 20–24].

Однако еще В.Н. Никитин в своем капитальном труде «Атлас клеток крови сельскохозяйственных и лабораторных животных» (1949 г.) выделял *syn.* (син. – синоним) нейтрофилов – гетерофилы [2].

Необходимо дать пояснение. Псевдоэозинофилами данные ПМЯЛ называют в связи со схожим «эозинофильным» (оксифильным) окрашиванием цитоплазматических гранул с эозинофильными лейкоцитами [2; 6].

Псевдоэозинофилы типичны для птиц, а также некоторых грызунов (*Rodentia*) и зайцеобразных (*Lagomorpha*), рептилий (пресмыкающихся – *Reptilia*) и ряда рыб (*Pisces*) [2; 6].

При этом данным ПМЯЛ (гетерофилам) свойственна в норме в основном палочковидная и овальная формы гранул протоплазмы [2; 6; 14, с. 132, 133, так же см. с. 51; 15, с. 186; 18, с. 48; 19; 22]. Окраска зерен гетерофилов птиц в отличие от эозинофилов скорее ближе к цвету цитоплазмы типичных нейтрофилов большинства млекопитающих, то есть розово-фиолетовая [2, с. 12], с небольшим сиреневым оттенком – амфотильная [2, с. 12]. То есть гранулы гетерофилов птиц имеют тенденцию к комбинированному (амфотильному) окрашиванию как кислыми, так и основными красками. Данная окраска гранул гетерофилов птиц характерна для птенцов. У взрослой птицы окраска зерен гетерофилов ближе к типичной оксифильной (то есть розовой, красно-оранжевой) [2, с. 12].

Учитывая выше отмеченные особенности нейтрофилов птиц, которые существенно больше по характеристикам и вариациям, чем у эозинофилов [2 с. 12], в зарубежных источниках данные зернистые лейкоциты именуют гетерофилами [1; 2, с. 12; 3; 14; 15; 18; 20–24], то есть в транслитерации – «разными, различными».

В руководстве «Гематология птиц» [6] авторы делают акцент на том, что принимать за синонимы псевдоэозинофилы и нейтрофилы ошибочно [6, с. 62].

При этом в более раннем труде В.Н. Никитин [2] синонимизирует нейтрофилы и гетерофилы [2, с. 10].

Автор [2] приводит синонимы термину нейтрофилы – специальные зернистые лейкоциты, гетерофилы, псевдоэозинофилы или амфиоксифилы [2, с. 12].

В зарубежных источниках ветеринарной гематологии среди гранулоцитов птиц гетерофилы (*heterophils*) не противопоставляют нейтрофилам [14], как в некоторых отечественных изданиях [6, с. 62], гетерофилы птиц классифицируют разновидностью (или эквивалентом [21; 22]) из общей группы нейтрофилов среди позвоночных животных [14, с. 132, 133].

Во многом противоречия номенклатуры полиморфноядерных гранулярных лейкоцитов обусловлены существенными особенностями строения как ювенальных, так и зрелых форм гетерофилов и эозинофилов [2; 6; 14; 15; 18; 21].

Значительными особенностями цитоплазматического матрикса отличаются ПМЯЛ – гетерофилы и эозинофилы. Так, протоплазма гетерофилов обычно бесцветная [6, с. 64; 15,

с. 186; 21; 22], однако в зависимости от физиологических состояний организма гетерофилы могут иметь слабо голубую (слабо базофильную) [2; 14, с. 132, 133] или слабо розовую (нейтрофильную) [2; 21] окраску цитоплазмы. В норме иногда цитоплазма гетерофилов может иметь участковую слабо базофильную окраску или, по В.Н. Никитину [2], содержать тельца Деле (*Döhle – körper*) (K. Döhle) [2, с. 12]. Эозинофилы в норме имеют цитоплазму голубого цвета [2, с. 11; 6, с. 64; 14, с. 132, 133, 148; 15, с. 186]. Ядро зрелых гетерофилов у птиц более пикнотичное, чем ядро нейтрофилов млекопитающих [2, с. 47]. Биполярное бисегментоядерное «гиревидное» ядро – наиболее распространенная форма ядра эозинофила в норме [25]. По образному выражению автора [2], типичное двудольчатое ядро зрелого эозинофила напоминает две только что отрывающиеся капли, обращенные друг к другу узкими концами [2, с. 12].

В.Н. Никитин отмечает, что дифференциация юных форм гетерофилов, содержащих значительное количество округлых гранул, от эозинофилов бывает существенно затруднительной [2, с. 48]. У птиц гранулы эозинофилов, по данным автора, скорее розовые, чем красные [2, с. 11]. Гранулы зрелых эозинофилов обычно круглой формы и окрашиваются в розовых и оранжевых («эозинофильных») тонах [14, с. 132, 133]. Зернистость в цитоплазме эозинофила чаще всего равномерная по размеру, напоминает по образному выражению А.И. Воробьева «икру красной рыбы» [25]. Типичные зерна гетерофилов птиц – палочковидные, продолговатые с постепенно суживающимися концами [6, с. 63], веретенообразные [15, с. 186; 18, с. 48], реже овальные гранулы [14, с. 132, 133; 22]. Гранулы специальных зернистых лейкоцитов могут иметь вид веретена с заостренными верхушками [2, с. 12; 6, с. 63]. При этом в гетерофилах, в основном у молодых форм, встречается и небольшое количество гранул округлой формы [2, с. 12, 47; 6, с. 63; 18, с. 47].

Необходимо пояснить, что гранулоцитарные лейкоциты в норме в стадии метамиелоцита содержат первичные азурофильные и вторичные специфические фагосомальные гранулы и нередко встречаются в мазках крови птенцов [1; 3; 5]. Гетерофильные метамиелоциты в цитоплазме содержат первичные, чаще округлые и вторичные специфические фагосомы (фагосомальные гранулы), имеющие в основном вер-

тенообразную палочковидную форму [2, с. 12, 47; 5; 18, с. 48].

Среди эозинофилов реже также встречается смешанный тип зернистости, в данном случае клетки имеют гранулы как округлой формы, так и палочковидной [6, с. 64].

Кроме того, по данным авторов [6], среди зернистых лейкоцитов у птиц могут встречаться клетки, которые по своим морфологическим характеристикам имеют признаки сразу всех классов гранулоцитов [6, с. 65].

Встречаются зернистые лейкоциты в гранулах, в которых количество содержимого уменьшается [6, с. 79], что объяснимо процессами осуществления гранулоцитами их специфических фагоцитарных и регуляторных медиаторных функций [1; 3–5; 26, с. 48, с. 111–117].

T.W. Campbell [18] отмечает, что цитоплазматические вторичные веретенообразные гранулы гетерофилов птиц могут иметь собственные внутренние тельца округлой формы [18, с. 48]. Данные внутригранулярные округлые тельца так называемых вторичных лизосом гетерофилов имеют белковую природу [18, с. 48]. Автор подчеркивает [15], что веретенообразные или игольчатой формы гранулы гетерофилов могут содержать центрально расположенное тельце [15, с. 186], нередко гранулы имеют эксцентрично локализованные тельца [15, с. 192, см. с. 193, рис. 9.8]. М.Н. Maxwell и G.W. Robertson [21] отмечают, что гранулы гетерофилов могут иметь «центральные тельца» белковой природы. По данным авторов [21], гранулы гетерофилов птиц могут содержать собственные тельца белковой природы, которые исследователи выявляли индикатором ртутным бромфеноловым синим (раствор бромфенолового синего в сулеме – дихлориде ртути) (из: [21], по: D.F. Mazia [et al.], 1965). Аналогично коллективами других авторов были обнаружены белковые тельца внутри веретенообразных гранул гетерофилов птицы (из: [21], по: M.I. Egami, W.S. Sasso, 1991), [5; 22].

Охарактеризованные включения гранул (лизосом) гетерофилов [1; 3–5; 15; 18; 21; 22] являются совокупностью неферментных и ферментных иммунных катионных белков, участвующих в фагоцитарном ответе данных микрофагов, обеспечивающих за счет формирования комплексных «нейтрофильных внеклеточных сетей» реакции неспецифического иммунитета, а также посредством медиаторных функций,



способствующих специфическому иммунному ответу организма [1; 3–5].

Необходимо отметить, что еще В.Н. Никитин при оригинальном способе фиксации мазков крови птицы получал гранулированность псевдоэозинофилов, весьма напоминающую «мицелий гриба» [2, с. 47, 48].

В крови клинически здоровых птиц в норме могут встречаться плазмциты [2, с. 15; 7; 18, с. 45; 27] или большие реактивные лимфоциты [18, с. 45, см. с. 47, fig. 2.12.]. К примеру, в сравнении с млекопитающими, у которых плазматические лимфоциты в мазке крови характерны для инфекционных патологий [2, с. 15]. Плазмциты – это в основном реактивные, то есть находящиеся в активной фазе В – лимфоциты [27] и их наиболее функциональная форма – иммуноциты (по Т. W. Campbell, 1994 [15, с. 184, 185, 187, 189]). Плазматические клетки (плазмциты) или клетки Тюрка (*Türk – zellen*) (W. Türk) [2, с. 15], по данным авторов [2, с. 15; 6, с. 60] могут иметь лимфоцитоидное или миелоидное происхождение.

Большие лимфоциты птиц схожи с моноцитами [2, с. 48; 6, с. 87; 24]. Так, цитоплазма моноцитов птиц по окрасу и морфологической структуре близка с таковой у больших лимфоцитов [2, с. 48], обычно голубая, слегка «пенистая». При этом, как отмечает Т. W. Campbell [18], большие лимфоциты – это сравнительно редкие агранулоциты [18, см. с. 46, fig. 2.11. (b)] и могут не встречаться в мазке крови птицы [18, с. 45]. Поэтому ранее некоторые гистологи исключали наличие мононуклеарных клеток в крови птиц [2, с. 48].

Однако при детальном изучении в условиях светооптической микроскопии больших лимфоцитов и моноцитов периферической крови птиц данные агранулоциты хороши различимы. Ядерно-цитоплазматическое соотношение больше смещено в сторону объема цитоплазмы у моноцитов, нежели в строении лимфоцитов. По образному выражению А.И. Воробьева [25], лимфоциты имеют характерную структуру хроматина ядра – «гор и долин», хроматиновый рисунок напоминает «географическую структуру горного хребта (вид сверху)». То есть ядро лимфоцитов с плотной структурой хроматина «гор и долин» в сравнении с немного «лапчатым» [25], сетчатым, имеющим более нежную структуру хроматина и нередко плеоморфным ядром у моноцитов.

Хотели бы обратить внимание, по данным J.A. Claver и A.I.E. Quaglia [22], в мазках периферической крови птиц цитоплазма моноцитов, как правило, темно-синего цвета или серо-голубого тона.

Характерными особенностями отличаются тромбоциты птиц. Это полноценные ядросодержащие клетки, обладающие иммунной фагоцитарной активностью [22; 23]. В мазках крови тромбоциты встречаются агрегированными группами [6, с. 75; 15, с. 187] или, реже, единично [6, с. 75].

Авторы отмечают, что в случае отсутствия гранул в цитоплазме тромбоцитов данные клетки весьма похожи на эритроциты, это обстоятельство, по мнению авторов, может затруднять дифференциальную диагностику клеток крови [6, с. 76].

Однако существенная морфологическая разница в общей форме клеток тромбоцитов и эритроцитов, а также строения и цвета цитоплазмы и ядра у тромбоцитов и эритроцитов не оставляет сомнений в дифференциации данных клеток. По литературным данным, форма тромбоцитов округло-овальная, реактивные тромбоциты с тенденцией к веретенообразной форме клеток [15, с. 187]. Цитоплазма тромбоцитов бесцветная [15, с. 186, 187; 18, с. 57; 28] или светло-голубая у молодых форм [15, с. 182, 183; 22]. Протоплазма нормальных тромбоцитов может быть скудной и иметь сетчатый вид [18, с. 57]. Ядро тромбоцитов с конденсированным хроматином отличается наиболее темно-фиолетовым цветом среди всех форменных элементов крови [15, с. 182, 186, 187], у зрелых клеток пикнотичное [15, с. 187]. Нередко подчеркивается выраженная структурированность протоплазмы тромбоцитов, при этом в большинстве источников отмечается наличие только специфичной оксифильной (ацидофильной [22]) красноватой или розовой зернистости в цитоплазме тромбоцитов [15, с. 182, 183, 186, 187, 197; 18, с. 57].

Тем не менее, приводятся данные по характеристике тромбоцитов периферической крови птиц, содержащих не только красноватые, но и четко выраженные голубые цитоплазматические гранулы (из: [19], по: А.Е. Rupley, 1999).

Для нормальной крови птиц в мазках характерно наличие фигур дегенерации ядер [2, с. 48] и клеток [29], то есть «теней ядер», «теней клеток». Это свидетельствует о большой структурной лабильности, «хрупкости» клеток

крови птиц [2, с. 48]. В принципе характеризует сравнительно высокую физиологическую активность форменных элементов крови птиц, которая наиболее свойственна раннему периоду после рождения, то есть неонатальному онтогенезу птенцов [6]. Соответственно, в мазках крови молодых птиц часто встречаются истинные не артефактные «тени» – формы дегенерации клеток [29].

Выводы

Таким образом, работа является теоретическим анализом особенностей морфофизиологии клеток крови неонатального онтогенеза кур.

Была освещена проблематика различий и их причин в морфологии и номенклатуре клеток периферической крови бройлерных кур раннего периода онтогенеза после рождения.

В продолжение работы авторами будет представлена характеристика дифференциальных морфофизиологических маркеров форменных элементов крови птиц на примере цветных с высоким разрешением микрофотографий клеток периферической крови кур-бройлеров постнатального онтогенеза.

Список литературы

1. Kaiser P. Advances in avian immunology – prospects for disease control: a review // *Avian Pathology*. 2010. Vol. 39. № 5. P. 309–324. doi: 10.1080/03079457.2010.508777.
2. Никитин В. Н. Атлас клеток крови сельскохозяйственных и лабораторных животных. М. : Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1949. 120 с.
3. Chicken heterophil extracellular traps (HETs): Novel defense mechanism of chicken heterophils / P. Chuammitri [et al.] // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2009. Vol. 129. P. 126–131. doi: 10.1016/j.vetimm.2008.12.013.
4. Нейтрофильные гранулоциты: новый взгляд на «старых игроков» на иммунологическом поле / И. В. Нестерова [и др.] // *Иммунология*. 2015. Т. 36. № 4. С. 257–265.
5. Колесник Е. А., Дерхо М. А. Иммуно- катионный белок нейтрофилов как фактор неспецифической резистентности и физиологической основы для разработки пробиотиков // *Микробные технологии в птицеводстве и животноводстве* : сб. тез. Всерос. науч.-практ. конференции / Институт Фундаментальной медицины и биологии ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) Федеральный университет». Казань : Изд-во Казанского университета, 2018. С. 18. Режим доступа : <https://istina.msu.ru/publications/article/213464677/> (дата обращения: 04.07.2019).
6. Болотников И. А., Соловьев Ю. В. Гематология птиц / отв. ред. А. А. Кудрявцев. Л. : Наука, 1980. 116 с.
7. Карпуть И. М., Бабина М. П. Иммунология эмбриогенеза цыплят-бройлеров // *Известия академии аграрных наук Республики Беларусь*. 1997. № 1. С. 61–63.
8. Борознова А. С., Карпуть И. М. Особенности гемопоэза цыплят-бройлеров в возрастном аспекте при применении «Бифидофлорин жидкий» // *Ученые записки Учреждения Образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»*. 2010. Т. 46. Вып. 2. С. 74–76.
9. Колесник Е. А., Дерхо М. А. Сезонная динамика физиологических параметров крови и их связь с уровнем сохранности бройлеров // *Вестник Томского государственного университета*. 2013. № 368. С. 186–188.
10. Колесник Е. А., Дерхо М. А. К вопросу об адаптационном гомеостазе животных в модели организма бройлерных кур в технологической среде жизнедеятельности // *АПК России*. 2016. Т. 23. № 5. С. 1011–1015.
11. Колесник Е. А., Дерхо М. А. Об участии гипофизарно-адренокортикальных гормонов в регуляции клеточного пула крови у цыплят-бройлеров // *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2018. № 1. С. 64–74. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbio.2018.1.64-74.
12. Липунова Е. А., Скоркина М. Ю. Система красной крови: Сравнительная физиология : монография. Белгород : Изд-во Белгородского государственного университета, 2004. 216 с.
13. Нормальное кроветворение и его регуляция / под ред. Н. А. Федорова. М. : Медицина, 1976. 543 с.
14. Harvey J. W. *Veterinary Hematology: A Diagnostic Guide and Color Atlas*. St. Louis, Missouri: Saunders / Elsevier Inc., 2012. 384 p. doi: 10.1111/vcp.12007.
15. Campbell T. W. Hematology / In: B. W. Ritchie, G. J. Harrison, L. R. Harrison (Eds.) // *In book: Avian Medicine: Principles and Applications*. Lake Worth, Florida: Wingers Publishing, Inc., 1994. P. 176–198.
16. Martinho F. Blood transfusion in birds // *Revista Lusófona de Ciência e Medicina Veterinária*. 2012. Vol. 5. P. 1–30.



17. Evaluation of hematopoietic cells and myeloid / erythroid ratio in the bone marrow of the pheasant (*Phasianus colchicus*) / M. Tadjalli, S. Nazifi, R. Haghjoo // Veterinary Research Forum. 2013. Vol. 4. № 2. P. 119–122. PMID: 25653783.
18. Campbell T. W. Exotic Animal Hematology and Cytology. Fourth edition. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2015. 403 p.
19. Hematological, morphological and morphometric characteristics of blood cells from rhea, *Rhea Americana* (Struthioniformes: Rheidae): a standard for Brazilian birds / S. S. M. Gallo, N. B. Ederli, M. O. Bôa-Morte, F. C. R. Oliveira // Brazilian Journal of Biology. 2015. Vol. 75. № 4. P. 953–962. doi: 10.1590/1519-6984.03414.
20. The Fine Structure of Broiler Chicken Blood Cells, with Particular Reference to Basophils, after Severe Heat Stress / M. H. Maxwell, G. W. Robertson, M. A. Mitchell, A. J. Carlisle // Comparative Haematology International. 1992. Vol. 2. Issue 4. P. 190–200. doi: 10.1007/BF00216094.
21. Maxwell M. H., Robertson G. W. The avian heterophil leucocyte: a review // World's Poultry Science Journal. 1998. Vol. 54. № 2. P. 155–178. doi: 10.1079/WPS19980012.
22. Claver J. A., Quaglia A. I. E. Comparative Morphology, Development, and
23. Function of Blood Cells in Nonmammalian Vertebrates // Journal of Exotic Pet Medicine. 2009. Vol. 18. № 2. P. 87–97. doi:10.1053/j.jepm.2009.04.006.
24. The Gametocytes of *Leucocytozoon sabraesi* Infect Chicken Thrombocytes, Not Other Blood Cells / W. Zhao [et al.] // PLoS ONE. 2015. Vol. 10(7): e0133478. P. 1–17. doi: 10.1371/journal.pone.0133478.
25. Different breeds, different blood: Cytometric analysis of whole blood cellular composition in chicken breeds / B. Bílková [et al.] // Veterinary Immunology and Immunopathology. 2017. Vol. 188. P. 71–77. doi: 10.1016/j.vetimm.2017.05.001.
26. Воробьев А. И. Морфология форменных элементов крови человека. [Видеозапись исследования мазка крови человека, работу проводит академик АМН СССР и РАН Андрей Иванович Воробьев] // Гематология и трансфузиология. Видеоканал YouTube. Режим доступа : https://www.youtube.com/watch?v=Dor_XUuTW2s (дата обращения: 04.09.2015).
27. Бережная Н. М. Нейтрофилы и иммунологический гомеостаз : монография. Киев : Наукова думка, 1988. 192 с.
28. LeBien T. W., Tedder T. F. B lymphocytes: how they develop and function // Blood. 2008. Vol. 112. № 5. P. 1570–1580. doi: 10.1182/blood-2008-02-078071.
29. Orawan C., Aengwanich W. Blood Cell Characteristics, Hematological Values and Average Daily Gained Weight of Thai Indigenous, Thai Indigenous Crossbred and Broiler Chickens // Pakistan Journal of Biological Sciences. 2007. Vol. 10. № 2. P. 302–309.
30. Morphofunctional parameters of erythrocytes in blood of chickens at adaptation to different light status / L. K. Buslovskaya [et al.] // International Journal of Green Pharmacy. 2017. Vol. 11. № 3. P. S460–S464. doi: 10.22377/ijgp.v11i03.1157.

Колесник Евгений Анатольевич, канд. биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН».

E-mail: evgeniy251082@mail.ru.

Дерхо Марина Аркадьевна, д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой естественнонаучных дисциплин, ФГБОУ ВО Южно-Уральский государственный аграрный университет.

E-mail: derkho2010@yandex.ru.

* * *



Gizatullina Firdaus Gabdrakhmanovna, D. Sc. (Biology), Professor, South Ural State Agrarian University.

E-mail: gizatullina-f@mail.ru.

Kuznetsov Aleksandr Ivanovich, D. Sc. (Biology), Professor, South Ural State Agrarian University.

E-mail: phiziology_ugavm@mail.ru.

Samsonova Tatyana Sergeyevna, Cand. Sc. (Biology), Associate Professor, the Department of Noncontagious Diseases, South Ural State Agrarian University.

E-mail: tsamsonova01@mail.ru.

Buchel Aleksandr Vytautasovich, Cand. Sc. (Agriculture), Associate Professor, South Ural State Agrarian University.

E-mail: 1515-84@mail.ru.

**Characterizing the morphophysiology problems of blood cells of chickens' neonatal ontogenesis.
Report I. The features of postembryonic hematopoiesis, differences in approaches and problems
of morphofunctional blood analysis (review)**

E. A. Kolesnik, M. A. Derkho

A review of the complex of differences between the algorithms of scientific schools in morphology and morphofunctional analysis of chickens' peripheral blood of postnatal ontogenesis is presented. The hematopoiesis features of broiler chickens *Gallus gallus* (L.) at their early ontogenesis period after birth are characterized. The classification and causes of differences in the nomenclature of the formed elements of chickens' blood are discussed in comparison with mammals.

Keywords: blood morphology, erythroblasts, erythropoiesis, hemocytopoiesis, heterophiles, pseudo-eosinophils, eosinophils, lymphocytes, monocytes, platelets, hens.

References

1. Kaiser P. Advances in avian immunology – prospects for disease control: a review // *Avian Pathology*. 2010. Vol. 39. № 5. P. 309–324. doi: 10.1080/03079457.2010.508777.
2. Nikitin V. N. Atlas kletok krovi sel'skokhozyajstvennykh i laboratornykh zhivotnykh. M. : Gos. izd-vo s.-kh. lit-ry, 1949. 120 s.
3. Chicken heterophil extracellular traps (HETs): Novel defense mechanism of chicken heterophils / P. Chuammitri [et al.] // *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2009. Vol. 129. P. 126–131. doi: 10.1016/j.vetimm.2008.12.013.
4. Nejtrofil'nye granulotsity: novyy vzglyad na «starykh igrokov» na immunologicheskom pole / I. V. Nesterova [i dr.] // *Immunologiya*. 2015. T. 36. № 4. S. 257-265.
5. Kolesnik E. A., Derkho M. A. Immunnyj kationnyj belok nejtrofilov kak faktor nespetsificheskoj rezistentnosti i fiziologicheskoy osnovy dlya razrabotki probiotikov // *Mikrobynye tekhnologii v ptitsevodstve i zhivotnovodstve : sb. tez. Vseros. nauch.-prakt. konferentsii / Institut Fundamental'noj meditsiny i biologii FGAOU VO «Kazanskij (Privolzhskij) Federal'nyj universitet»*. Kazan' : Izd-vo Kazanskogo universiteta, 2018. S. 18. Rezhim dostupa : <https://istina.msu.ru/publications/article/213464677/> (data obrashcheniya: 04.07.2019).
6. Bolotnikov I. A., Solov'ev Yu. V. *Gematologiya ptits* / otv. red. A. A. Kudryavtsev. L. : Nauka, 1980. 116 s.
7. Karput' I. M., Babina M. P. *Immunologiya embriogeneza tsyplyat-brojlerov* // *Izvestiya akademii agrarnykh nauk Respubliki Belarus'*. 1997. № 1. S.61-63.

8. Boroznova A. S., Karput' I. M. Osobennosti gemopoeza tsyplyat-brojlerov v vozrastnom aspekte pri primenenii «Bifidoflorin zhidkij» // Uchenye zapiski Uchrezhdeniya Obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoj meditsiny». 2010. T. 46. Vyp. 2. S. 74-76.
9. Kolesnik E. A., Derkho M. A. Sezonnaya dinamika fiziologicheskikh parametrov krovi i ikh svyaz' s urovnem sokhrannosti brojlerov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 368. S. 186-188.
10. Kolesnik E. A., Derkho M. A. K voprosu ob adaptatsionnom gomeostazise zhivotnykh v modeli organizma brojlernykh kur v tekhnologicheskoy srede zhiznedeyatel'nosti // APK Rossii. 2016. T. 23. № 5. S. 1011-1015.
11. Kolesnik E. A., Derkho M. A. Ob uchastii gipofizarno-adrenokortikal'nykh gormonov v regulyatsii kletochnogo pula krovi u tsyplyat-brojlerov // Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh. 2018. № 1. S. 64–74. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbio.2018.1.64-74.
12. Lipunova E. A., Skorkina M. Yu. Sistema krasnoj krovi: Sravnitel'naya fiziologiya : monografiya. Belgorod : Izd-vo Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta, 2004. 216 s.
13. Normal'noe krovetvorenje i ego regulyatsiya / pod red. N. A. Fedorova. M. : Meditsina, 1976. 543 s.
14. Harvey J. W. Veterinary Hematology: A Diagnostic Guide and Color Atlas. St. Louis, Missouri: Saunders / Elsevier Inc., 2012. 384 p. doi: 10.1111/vcp.12007.
15. Campbell T. W. Hematology / In: B. W. Ritchie, G. J. Harrison, L. R. Harrison (Eds.) // In book: Avian Medicine: Principles and Applications. Lake Worth, Florida: Wingers Publishing, Inc., 1994. P. 176-198.
16. Martinho F. Blood transfusion in birds // Revista Lusófona de Ciência e Medicina Veterinária. 2012. Vol. 5. P. 1-30.
17. Evaluation of hematopoietic cells and myeloid / erythroid ratio in the bone marrow of the pheasant (*Phasianus colchicus*) / M. Tadjalli, S. Nazifi, R. Haghjoo // Veterinary Research Forum. 2013. Vol. 4. № 2. P. 119-122. PMID: 25653783.
18. Campbell T. W. Exotic Animal Hematology and Cytology. Fourth edition. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2015. 403 p.
19. Hematological, morphological and morphometric characteristics of blood cells from rhea, *Rhea Americana* (Struthioniformes: Rheidae): a standard for Brazilian birds / S. S. M. Gallo, N. B. Ederli, M. O. Bôa-Morte, F. C. R. Oliveira // Brazilian Journal of Biology. 2015. Vol. 75. № 4. P. 953-962. doi: 10.1590/1519-6984.03414.
20. The Fine Structure of Broiler Chicken Blood Cells, with Particular Reference to Basophils, after Severe Heat Stress / M. H. Maxwell, G. W. Robertson, M. A. Mitchell, A. J. Carlisle // Comparative Haematology International. 1992. Vol. 2. Issue 4. P. 190-200. doi: 10.1007/BF00216094.
21. Maxwell M. H., Robertson G. W. The avian heterophil leucocyte: a review // World's Poultry Science Journal. 1998. Vol. 54. № 2. P. 155-178. doi: 10.1079/WPS19980012.
22. Claver J. A., Quaglia A. I. E. Comparative Morphology, Development, and Function of Blood Cells in Nonmammalian Vertebrates // Journal of Exotic Pet Medicine. 2009. Vol. 18. № 2. P. 87–97. doi:10.1053/j.jepm.2009.04.006.
23. The Gametocytes of *Leucocytozoon sabrazesi* Infect Chicken Thrombocytes, Not Other Blood Cells / W. Zhao [et al.] // PLoS ONE. 2015. Vol. 10(7): e0133478. P. 1-17. doi: 10.1371/journal.pone.0133478.
24. Different breeds, different blood: Cytometric analysis of whole blood cellular composition in chicken breeds / B. Bílková [et al.] // Veterinary Immunology and Immunopathology. 2017. Vol. 188. P. 71-77. doi: 10.1016/j.vetimm.2017.05.001.
25. Vorob'ev A. I. Morfologiya formennykh elementov krovi cheloveka. [Videozapis' issledovaniya mazka krovi cheloveka, rabotu provodit akademik AMN SSSR i RAN Andrej Ivanovich Vorob'ev] // Gematologiya i transfuziologiya. Videokanal YouTube. Rezhim dostupa : https://www.youtube.com/watch?v=Dor_XUuTW2s (data obrashcheniya: 04.09.2015).
26. Berezhnaya N. M. Nejtrofily i immunologicheskij gomeostaz : monografiya. Kiev : Naukova dumka, 1988. 192 s. LeBien T. W., Tedder T. F. B lymphocytes: how they develop and function // Blood. 2008. Vol. 112. № 5. P. 1570-1580. doi: 10.1182/blood-2008-02-078071.



27. Orawan C., Aengwanich W. Blood Cell Characteristics, Hematological Values and Average Daily Gained Weight of Thai Indigenous, Thai Indigenous Crossbred and Broiler Chickens // Pakistan Journal of Biological Sciences. 2007. Vol. 10. № 2. P. 302-309.

28. Morphofunctional parameters of erythrocytes in blood of chickens at adaptation to different light status / L. K. Buslovskaya [et al.] // International Journal of Green Pharmacy. 2017. Vol. 11. № 3. P. S460-S464. doi: 10.22377/ijgp.v11i03.1157.

Kolesnik Evgeny Anatolyevich, Cand. Sc. (Biology), senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Center, the Russian Academy of Sciences.

E-mail: evgeniy251082@mail.ru.

Derkho Marina Arkadyevna, D. Sc. (Biology), Professor, Head of the Department of Natural Sciences, South Ural State Agrarian University.

E-mail: derkho2010@yandex.ru.

Characterizing the morphophysiology problems of blood cells of chickens' neonatal ontogenesis. Report II. Characterizing the differential morphophysiological markers of chickens' blood cells

E. A. Kolesnik, M. A. Derkho

The morphofunctional characteristic of the peripheral blood cell ensemble of broiler chickens *Gallus gallus* (L.) of early postnatal ontogenesis is presented. It is based on the analysis of high-resolution color micrographs made with light-optical microscopy. The work is a practical result to continue the comprehensive study of the morphophysiology of the blood cells of broiler chickens in the early period of ontogenesis after birth.

Keywords: blood morphology, erythroblasts, erythropoiesis, mitosis, hemocytopoiesis, heterophiles, eosinophils, basophils, lymphocytes, monocytes, platelets, hens.

References

1. Nikitin V. N. Atlas kletok krovi sel'skokhozyajstvennykh i laboratornykh zhivotnykh. M. : Gos. izd-vo s.-kh. lit-ry, 1949. 120 s.
2. Campbell T. W. Hematology / In: B. W. Ritchie, G. J. Harrison, L. R. Harrison (Eds.) // In book: Avian Medicine: Principles and Applications. Lake Worth, Florida: Wingers Publishing, Inc., 1994. P. 176-198.
3. Maxwell M. H., Robertson G. W. The avian heterophil leucocyte: a review // World's Poultry Science Journal. 1998. Vol. 54. № 2. P. 155-178. doi: 10.1079/WPS19980012.
4. Harvey J. W. Veterinary Hematology: A Diagnostic Guide and Color Atlas. St. Louis, Missouri: Saunders / Elsevier Inc., 2012. 384 p. doi: 10.1111/vcp.12007.
5. Bolotnikov I. A., Solov'ev Yu. V. Gematologiya ptits / otv. red. A. A. Kudryavtsev. L. : Nauka, 1980. 116 s.
6. Hematological, morphological and morphometric characteristics of blood cells from rhea, Rhea Americana (Struthioniformes: Rheidae): a standard for Brazilian birds / S. S. M. Gallo, N. B. Ederli, M. O. Bôa-Morte, F. C. R. Oliveira // Brazilian Journal of Biology. 2015. Vol. 75. № 4. P. 953-962. doi: 10.1590/1519-6984.03414.
7. Kolesnik E. A., Derkho M. A. K voprosu ob adaptatsionnom gomeostazise zhivotnykh v modeli organizma brojlernykh kur v tekhnologicheskoy srede zhiznedeyatel'nosti // APK Rossii. 2016. T. 23. № 5. S. 1011-1015.
8. Kolesnik E. A., Derkho M. A. Ob uchastii gipofizarno-adrenokortikal'nykh gormonov v regulyatsii kletoch'nogo pula krovi u tsyplyat-brojlerov // Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh. 2018. № 1. S. 64-74. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.1.64-74.