

УДК 612.111.3:599.323.43

DOI: 10.31040/2222-8349-2019-0-1-19-24

ЭРИТРОПОЭТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КОСТНОГО МОЗГА ДВУХ ТИПИЧНО ГОРНЫХ ВИДОВ ПОЛЕВОК НА ЦЕНТРАЛЬНОМ КАВКАЗЕ

© З.Х. Боттаева, З.А. Берсекова

Представлены результаты межвидового и внутривидового сравнения эритропоэтической активности костного мозга двух типично горных видов мелких млекопитающих – гудаурской (*Chionomys gud*) и дагестанской (*Microtus daghestanicus*) полевок. Исследованы общее количество эритроидных клеток и парциальная эритрограмма. Исследования проводились на Центральном Кавказе в условиях субальпийского пояса двух различающихся по некоторым климато-географическим факторам районов, находящихся в разных вариантах поясности (терском и эльбрусском), но на одной высоте. Установлено, что эритропоэз в костном мозге у двух близких видов полевок подвержен как межвидовой, так и внутривидовой изменчивости. В эльбрусском варианте, отличающемся более суровыми условиями, у *Ch. gud* повышается количество наиболее молодых клеток эритроидного ростка костного мозга – эритробластов, что указывает на некоторое «напряжение» кроветворной системы. В условиях терского варианта повышение эритропоэтической активности костного мозга наблюдается у *M. daghestanicus*. Полученные данные свидетельствуют о том, что эритропоэз костного мозга видоспецифичен, адаптивная реакция на сходные условия у изученных видов различна, и на процессы кроветворения оказывают влияние климатические факторы. Выявленные различия костного мозга обуславливают особенности периферической крови, необходимые для оптимального обеспечения организма кислородом и стабильного существования видов. Для *Ch. gud* оптимальными являются более мягкие условия терского варианта поясности, а для *M. daghestanicus* – более суровые условия эльбрусского варианта.

Ключевые слова: Центральный Кавказ, гудаурская полевка, дагестанская полевка, костный мозг, эритропоэз, адаптация.

Адаптация организма к среде обитания осуществляется с помощью различных механизмов, важнейшим из которых является регуляция кислородного гомеостаза организма, реализуемая при участии системы крови посредством изменения уровня эритропоэза и кислородно-транспортных свойств гемоглобина [1].

Эритропоэз у млекопитающих регулируется множеством факторов: в процессе пролиферации, дифференцировки и созревания клетки эритроидного ряда взаимодействуют друг с другом, с компонентами внеклеточного микроокружения, а также с клетками других гемопоэтических линий [2]. При этом немаловажную роль могут играть и внешние факторы, оказывая на процессы эритропоэза значительное влияние.

Новые данные об особенностях эритропоэза костного мозга различных видов животных необходимы как для понимания механизмов

эритропоэза и их изменений, происходящих при воздействии различных факторов, так и для познания общебиологических закономерностей эволюционного процесса.

Исследование кроветворной системы близких видов, имеющих различные экологические предпочтения, но обитающих на одних территориях, весьма важно для изучения и понимания глубинных механизмов физиологической адаптации, происходящей в организме в зависимости от видовой принадлежности и условий среды обитания. Наиболее интересными могут оказаться исследования в горных условиях. В этой связи в качестве объектов исследования были выбраны два типично горных вида полевок – гудаурская (*Chionomys gud* Satunin, 1909) и дагестанская (*Microtus daghestanicus* Shidlovsky, 1919), принадлежащие к разным родам и относящиеся к автохтонной группе

БОТТАЕВА Зулихат Хусейновна, Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН,
e-mail: zulya_bot@mail.ru

БЕРСЕКОВА Зоя Адиевна, Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова РАН,
e-mail: zbersekova@mail.ru

млекопитающих Кавказа. *Ch. gud* является петрофильным видом, а *M. daghestanicus* предпочитает мезофильные луга. Оба вида преимущественно обитают в субальпийском поясе, однако встречаются как в альпийском, так и в лесном поясе. Изучение эритропоэза костного мозга у видов может способствовать выявлению напряженности организма в конкретных природно-климатических условиях и, соответственно, оптимальности среды для этих видов.

В литературе относительно мало данных, посвященных изучению эритропоэза костного мозга мелких млекопитающих в их естественных условиях обитания [3–8].

Цель настоящей работы – изучить меж- и внутривидовую изменчивость эритропоэтической активности костного мозга *Ch. gud* и *M. daghestanicus* в разных эколого-географических условиях Центрального Кавказа.

Материал и методы. Исследования проводились в летний период (июль–август) в условиях субальпийского пояса (1900–2000 м над ур. м.) терского и эльбрусского вариантов поясности на Центральном Кавказе. Согласно типизации поясных спектров, разработанной А.К. Темботовым, терский и эльбрусский варианты относятся к континентальному подтипу восточно-северокавказского (полупустынного) типа поясности [9]. Районы исследований характеризуются различными климатическими условиями. Более суровые условия, связанные с низкой среднегодовой температурой, характерны для эльбрусского варианта.

Всего изучено 135 половозрелых животных: в условиях терского варианта – 39 особей *Ch. gud* (15 самцов и 24 самки) и 31 особь *M. daghestanicus* (11 самцов и 20 самок), в условиях эльбрусского варианта – 28 (12 самцов и 16 самок) и 37 особей (21 самец и 16 самок) соответственно. Исследована эритропоэтическая активность костного мозга: общее количество эритроидных клеток в костном мозге и парциальная эритрограмма.

Костный мозг получали из диафиза бедренной кости животных. Приготовленные на предметных стеклах препараты костного мозга [10] окрашивали комбинированным методом по Май–Грюнвальду и Романовскому–Гимза. На окрашенных сухих препаратах проводили морфологическое исследование клеток костного мозга по И.А. Кассирскому и Г.А. Алексеевой [11]. Подсчет общего количества эритроидных

клеток костного мозга проводили на 1000 клеток лейкобластного и эритробластного ряда. Эритропоэтическую функцию костного мозга изучали по морфологии 500 клеток эритробластного ряда с дифференциацией на эритробласты, базофильные, полихроматофильные и оксифильные нормобласты. Затем выводили процентное соотношение этих клеток [10–12].

Данные обрабатывали с использованием пакета прикладных программ «Statistica-10» с помощью дисперсионного и дискриминантного анализа. Значимость различий определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента. Различия между выборками считали достоверными при $p < 0.05$.

Результаты и их обсуждение. Морфологическое исследование препаратов костного мозга *Ch. gud* и *M. daghestanicus* показало, что клеточный состав эритроидного ростка у видов представлен эритробластами, базофильными, полихроматофильными и оксифильными нормобластами, из которых 1–4 на разных стадиях митоза. Большую долю клеток составляют наиболее зрелые клетки – оксифильные нормобласты, что свидетельствует о нормальном течении процесса кроветворения. В умеренном количестве отмечены зрелые эритроциты и небольшое количество жировых клеток небольших размеров. У *M. daghestanicus* встречаются единичные жировые клетки крупных размеров. Присутствуют плазматические клетки, принимающие участие в образовании специфических иммуноглобулинов (антител) и обеспечивающие гуморальный иммунитет.

Достоверных половых различий по показателям эритропоэза костного мозга не обнаружено ни у одного из видов.

Внутривидовая изменчивость. Анализ внутривидового сравнения эритропоэтической функции костного мозга изученных видов полевок выявил следующее. У *Ch. gud* общее количество эритроидных клеток в разных условиях существенно не отличается. При этом в парциальной эритрограмме отмечены значительные различия. Достоверная разница выявлена в количестве эритробластов – наиболее молодых клеток эритроидного ряда. Больше количество обнаружено у особей эльбрусского варианта. По содержанию клеток последующих стадий зрелости достоверно значимых различий не обнару-

жено. У *M. daghestanicus* различия касаются общего количества эритроидных клеток: более высокая активность отмечена у особей терского варианта. Парциальная эритрограмма при этом достоверных различий не

обнаруживает (табл. 1). Выявленные межпопуляционные различия эритропоэтической функции костного мозга двух видов полевок подтверждаются и дискриминантным анализом (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Показатели эритроидного ряда костного мозга *Ch. gud* и *M. daghestanicus* и достоверность меж- и внутривидовых различий в условиях субальпийского пояса терского и эльбрусского вариантов поясности

		Вид Местообитание	Пол	Эритроидный ряд клеток костного мозга				
				ОКЭК	Э	БН	ПН	ОН
X ± m	Терский вариант (Безенги)	<i>Ch. gud</i>	♂♂	24.19±0.79	2.51±0.11	7.95±0.43	38.77±1.02	49.68±1.19
			♀♀	25.70±0.89	2.82±0.13	7.99±0.21	38.09±0.65	49.79±0.77
	<i>M. daghestanicus</i>	♂♂	25.42±1.15	2.25±0.13	6.65±0.20	40.98±0.83	48.68±1.03	
		♀♀	24.77±1.33	2.11±0.13	6.69±0.26	40.55±1.01	49.67±1.11	
X ± m	Эльбрусский вариант (Эльбрус)	<i>Ch. gud</i>	♂♂	23.92±1.74	4.08±0.36	7.83±0.33	37.40±1.08	49.04±1.63
			♀♀	25.23±0.74	3.75±0.30	7.54±0.35	36.25±0.73	51.34±0.83
	<i>M. daghestanicus</i>	♂♂	20.88±1.09	2.20±0.14	6.63±0.32	41.96±0.80	47.46±0.73	
		♀♀	22.15±1.24	2.56±0.28	5.95±0.39	40.27±1.01	48.43±1.34	
Уровень значимости (P)	Межвидовое сравнение	Терский вариант	♂♂	0.373	0.135	0.022	0.123	0.548
			♀♀	0.549	0.000	0.000	0.038	0.929
	Эльбрусский вариант	♂♂	0.131	0.000	0.023	0.002	0.319	
		♀♀	0.035	0.010	0.005	0.003	0.065	
Внутривидовое сравнение	<i>Ch. gud</i>	♂♂	0.880	0.000	0.829	0.372	0.751	
		♀♀	0.711	0.002	0.252	0.072	0.188	
Внутривидовое сравнение	<i>M. daghestanicus</i>	♂♂	0.011	0.827	0.956	0.437	0.340	
		♀♀	0.183	0.111	0.111	0.850	0.477	

Примечание. ОКЭК – общее количество эритроидных клеток, Э – эритробласты, БН – базофильные нормобласты, ПН – полихроматофильные нормобласты, ОН – оксифильные нормобласты.

Т а б л и ц а 2

Внутривидовые дискриминирующие признаки эритроидного ряда костного мозга *Ch. gud* и *M. daghestanicus* в условиях субальпийского пояса терского и эльбрусского вариантов поясности

Вид	Пол	Показатели	F	p	Процент дискриминации
<i>Ch. gud</i>	♂♂	Эритробласты	21.20	0.000	82.61
	♀♀		11.33	0.002	72.50
<i>M. daghestanicus</i>	♂♂	Общее количество эритроидных клеток	7.04	0.013	62.07
	♀♀	Эритробласты	2.42	0.138	73.33

Межвидовые дискриминирующие признаки эритроидного ряда костного мозга Ch. gud и M. daghestanicus в условиях субальпийского пояса терского и эльбрусского вариантов поясности

Вариант поясности	Пол	Показатели	F	p	Процент дискриминации
Терский вариант	♂♂	Базофильные нормобласты	6.16	0.022	69.57
	♀♀	Эритробласты	20.19	0.000	90.70
		Базофильные нормобласты	15.28	0.000	
Эльбрусский вариант	♂♂	Эритробласты	33.21	0.000	89.29
	♀♀	Полихроматофильные нормобласты	16.41	0.001	72.41

Межвидовая изменчивость. Межвидовое сравнение показателей эритропоэтической активности костного мозга *Ch. gud* и *M. daghestanicus* в сходных условиях выявило различия как в условиях терского, так и в условиях эльбрусского вариантов. В обоих случаях достоверная разница обнаружена в парциальной эритрограмме. Содержание клеток более ранних стадий зрелости – эритробластов и базофильных нормобластов в обоих вариантах значительно выше у *Ch. gud*, полихроматофильных нормобластов – *M. daghestanicus*. Количество наиболее зрелых клеток – оксифильных нормобластов более стабильно и достоверной разницы не обнаруживает. Общее количество эритроидных клеток значительно ниже в костном мозге *M. daghestanicus* в условиях эльбрусского варианта. В терском варианте по данному показателю межвидовых различий не обнаружено (табл. 1).

По результатам дискриминантного анализа в терском варианте достоверный вклад в различие видов как среди самцов, так и среди самок вносят базофильные нормобласты, у самок еще и эритробласты. В эльбрусском варианте самцов различают эритробласты, самок – полихроматофильные нормобласты.

Ранее подобного рода исследования проводились в условиях эльбрусского варианта на представителях семейства Muridae [8]. Изучались межвидовые различия эритропоэза костного мозга *Apodemus uralensis* и *Mus musculus*. Эритропоэтическая функция более ярче выражена у *A. uralensis* как за счет общего количества эритроидных клеток, так и наиболее молодых клеток костного мозга – эритробластов. Базофильных нормобластов, так же как и оксифильных, значительно больше у *M. musculus*, тогда как клеток промежуточной стадии деления – полихроматофильных нормобластов – у *A. uralensis*.

Как видно из наших результатов и данных, полученных ранее, межвидовые различия близких видов в сходных природно-климатических условиях значительны. Все различия, отмеченные в кроветворной функции костного мозга сравниваемых видов обуславливают особенности периферической крови, необходимые для оптимального обеспечения организма кислородом, о чем свидетельствуют исследования крови данных видов [8, 13].

Результаты внутривидового сравнения эритропоэтической активности костного мозга *Ch. gud* и *M. daghestanicus* свидетельствуют о том, что требования видов к климатическим условиям различны. Для *Ch. gud* оптимальными являются более мягкие условия терского варианта поясности, а для *M. daghestanicus* – более суровые условия эльбрусского варианта. Данный вывод подтверждается и межвидовым сравнением видов (табл. 1).

Заключение. Сравнительный анализ эритропоэтической активности костного мозга *Ch. gud* и *M. daghestanicus* на Центральном Кавказе в условиях субальпийского пояса (1900–2000 м над ур. м) терского и эльбрусского вариантов поясности показал, что, во-первых, в одних и тех же эколого-географических условиях у двух близких видов полевок имеются различия, свидетельствующие о видоспецифичности эритропоэза и различной адаптивной реакции на сходные условия; во-вторых, в разных эколого-географических условиях у одних и тех же видов имеются отличия, свидетельствующие о влиянии на эритропоэз климатических факторов.

Более суровые условия эльбрусского варианта поясности вызывают у *Ch. gud* некоторое «напряжение» кроветворной системы, что проявляется в виде увеличения количества наиболее молодых клеток эритроидного ростка костного мозга – эритробластов. У *M. daghestanicus*,

напротив, некоторое повышение эритропоэтической активности в виде увеличения общего количества эритроидных клеток наблюдается в условиях терского варианта поясности. Т.е. изменчивость кроветворной системы у двух видов полевок носит разнонаправленный характер, что необходимо для изменений в периферической крови, направленных в первую очередь на оптимальное обеспечение организма кислородом.

Таким образом, кроветворная система *Ch. gud* и *M. daghestanicus* на Центральном Кавказе в условиях субальпийского пояса терского и эльбрусского вариантов поясности при общих чертах имеет особенности, отражающие адаптивную реакцию к условиям среды и свидетельствующие о видоспецифичности изученных показателей. Различная адаптивная реакция изученных видов указывает на различные требования видов к условиям обитания.

Литература

1. Ковальчук Л.А. Эколого-физиологические аспекты адаптации к условиям техногенных экосистем. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 216 с.
2. Тишевская Н.В., Геворкян Н.М., Козлова Н.И. Современный взгляд на роль Т-лимфоцитов в регуляции эритропоэза // Успехи современной биологии. 2016. Т. 136, № 1. С. 81–95.
3. Темботов А.К., Темботова Э.Ж., Берсекова З.А., Емкужева М.М. Влияние градиента высоты местности на гематологические показатели одного из широко распространенных видов грызунов – малой лесной мыши (*Muridae*, *Rodentia*) на Центральном Кавказе // Млекопитающие горных территорий: Материалы междунар. конф. М., 2005. С. 169–174.
4. Темботова Э.Ж., Емкужева М.М., Темботова Ф.А. Эколого-физиологический анализ эритрона доменной мыши (*Mus musculus* L.) в условиях высотной поясности Центрального Кавказа // Млекопитающие горных территорий: Материалы междунар. конф. М., 2007. С. 315–323.
5. Тарахтий Э.А., Дружинина А.Ю., Кшнясев И.А. Эколого-физиологические особенности показателей кроветворной системы рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*) // Успехи современной биологии. 2005. Т. 125, № 2. С. 206–213.
6. Барагунова Е.А. Эколого-физиологические особенности адаптивных изменений системы крови мелких млекопитающих Кавказа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1994. 24 с.
7. Емкужева М.М., Темботова Э.Ж., Темботова Ф.А. К характеристике серой крысы (*Rattus norvegicus* Berk.) в условиях луговых степей эль-

брусского варианта Центрального Кавказа // Экология. 2014. № 1. С. 62–69.

8. Емкужева М.М. Сравнительный анализ адаптивных реакций системы крови и интерьерных признаков дикоживущих и синантропных грызунов семейства *Muridae* к условиям гор центральной части Северного Кавказа: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2013. 19 с.

9. Соколов В.Е., Темботов А.К. Млекопитающие Кавказа: Насекомоядные. М.: Наука, 1989. 548 с.

10. Воробьев А.И. Руководство по гематологии. М., 1985. Т. 1. 353 с.

11. Кассирский И.А., Алексеева Г.А. Клиническая гематология. М.: Медицина, 1970. 490 с.

12. Анализы. Полный справочник. М.: Изд-во Эксмо, 2006. 768 с.

13. Боттаева З.Х. Сравнительная характеристика эритрона двух видов полевок в условиях субальпийского пояса терского варианта поясности на Центральном Кавказе // Известия Самарского научного центра РАН. 2017. Т. 19, № 5. С. 30–35.

References

1. Koval'chuk L.A. Ecologic-physiological aspects of adaptation to conditions of technogenous systems. Ekaterinburg: UD RAS, 2008. 216 p.
2. Tishevskaya N.V., Gevorkyan N.M., Kozlova N.I. Current views on the role of T-lymphocytes in erithropoiesis regulation // Advances in Current Biology. 2016. Vol. 136. № 1. P. 81–95.
3. Tembotov A.K., Tembotova E.Zh., Berseкова Z.A., Emkuzheva M.M. Effect of altitude gradient on hematological parameters of the lesser common field mouse (*Muridae*, *Rodentia*), one of the most spread rodent species in the Central Caucasus // Mammals of mountain territories: Proceedings of Inter. Conf. Moscow: KMK, 2005. P. 169–174.
4. Tembotova E.Zh., Emkuzheva M.M., Tembotova F.A. Ecologic- physiological analysis of erythron of the house mouse (*Mus musculus* L.) under conditions of vertical zonation in the Central Caucasus // Mammals of mountain territories: Proceedings of Inter. Conf. Moscow: KMK, 2007. P. 315–323.
5. Tarakhtiy E.A., Druzhinina A.Yu., Kshnyasev I.A. Ecologic- physiological peculiarities of hematopoietic system parameters in *Clethrionomys glareolus* // Advances in Current Biology. 2005. Vol. 125. № 2. P. 206–213.
6. Baragunova E.A. Ecologic- physiological peculiarities of adaptive changes in the blood system of small mammals in the Caucasus: Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation, Ekaterinburg, 1994. 24p.
7. Emkuzheva M.M., Tembotova E.Zh., Tembotova F.A. On characteristic of *Rattus norvegicus* Berk. under conditions of meadow steppes of the elbrusskiy variant in the Central Caucasus // Ecology. 2014. №1. P. 62-69.

8. Emkuzheva M.M. Comparative analysis of adaptive responses of the blood system and interior characters of wild and synanthropic rodents of Muridae family to mountain conditions of the central part of the North Caucasus: Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation, Saratov, 2013. 19 p.

9. Sokolov V.E., Tembotov A.K. Mammals of the Caucasus: Insectivores. Moscow: Nauka, 1989. 548 p.

10. Vorob'ev A.I. Textbook on hematology. Moscow, 1985. Vol. 1. 353 p.

11. Kassirskiy I.A., Alekseeva G.A. Clinical hematology. Moscow: Medicine, 1970. 490 p.

12. Analyses. Unabridged handbook. Moscow: Publishing House Eksmo, 2006. 768 p.

13. Bottaeva Z.Kh. Comparative characteristic of erythron in two vole species under subalpine belt conditions of the terskiy variant of vertical zonation in the Central Caucasus // Academic journal "Izvestiya of Samara Scientific Centre RAS". 2017. Vol. 19. № 5. P. 30–35.



ERYTHROPOIETIC ACTIVITY OF THE BONE MARROW IN TWO TYPICALLY MOUNTAIN SPECIES OF VOLES IN THE CENTRAL CAUCASUS

© Z.Kh. Bottaeva, Z.A. Bersekova

Tembotov Institute of ecology of mountain territories RAS,
37A, ulitsa I. Armand, 360051, Nalchik, Russian Federation

This paper represents the results of interspecific and intraspecific comparison of erythropoietic activity of the bone marrow in two typically mountain species of small mammals – *Chionomys gud* and *Microtus daghestanicus*. The total number of erythroid cells and partial erythrogram were studied. The studies were carried out in the Central Caucasus under conditions of the subalpine belt in two regions which differ by some climatic and geographical factors; the regions are in different variants of vertical zonation (the terskiy and elbrusskiy variants), but at the same altitude. It is determined that erythropoiesis of the bone marrow in two closely-related species of voles is subject to both interspecific and intraspecific variation. The number of more immature cells of erythroid lineage – erythroblasts was increased in *Ch.gud* under severe conditions of the elbrusskiy variant, which suggests some «load» of hematopoiesis. The increase of erythropoietic activity of the bone marrow was registered in *M. daghestanicus* under conditions of the terskiy variant. The data obtained testify to the following: erythropoiesis of the bone marrow is species-specific, adaptive response to similar conditions is different in the studied species, and climatic factors effect hematopoiesis. The peculiarities of peripheral blood are determined by revealed differences of the bone marrow which are required for optimal oxygen supply of the organism and stable existence of the species. Mild conditions of the terskiy variant are optimal for *Ch. gud*, and severe conditions of the elbrusskiy variant are optimal for *M. daghestanicus*.

Key words: Central Caucasus, *Chionomys gud*, *Microtus daghestanicus*, bone marrow, erythropoiesis, adaptation.