

УДК 599.539;591.111

МОРФОЛОГИЯ КЛЕТОК КРОВИ БЕЛУХИ *DELPHINAPTERUS LEUCAS* (PALLAS, 1776)

© 2023 г. П. В. Мищенко^{1, 2, *}, В. А. Ячмень^{1, 2}, Е. Н. Андрианова², П. Г. Захаренко²

¹Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского (ННЦМБ) ДВО РАН, Владивосток, 690041 Россия

²НОК “Приморский океанариум” – филиал ННЦМБ ДВО РАН, Владивосток, 690922 Россия
*e-mail: xpolli@mail.ru

Поступила в редакцию 13.01.2023 г.

После доработки 30.03.2023 г.

Принята к публикации 30.03.2023 г.

Клинический анализ крови, наряду с цитоморфологическим исследованием, является важным диагностическим инструментом для оценки физиологического состояния животных. Цитоморфологические особенности клеток крови описаны для наземных млекопитающих, на их основе созданы хорошо иллюстрированные ветеринарные атласы, в которых отображены нормальные и патологические формы клеток крови животных. Однако для морских млекопитающих такая информация фактически отсутствует. Поэтому в данной статье мы приводим результаты изучения морфологии клеток крови белухи *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776), полученные путем суправитальной окраски препаратов мазков крови бриллиантовым крезиловым синим, метиленовым синим и стандартным методом по Романовскому–Гимзе. В работе представлены все основные типы клеток крови, типичные для млекопитающих. Описаны не только эритроциты, сегментоядерные нейтрофилы, эозинофилы, моноциты, лимфоциты, палочкоядерные нейтрофилы, но и редко встречающиеся базофилы.

Ключевые слова: белуха, *Delphinapterus leucas*, цитоморфология, клетки крови, лейкоциты, эритроциты, тромбоциты

DOI: 10.31857/S0134347523040083, **EDN:** UMRBVB

Клинический анализ крови морских млекопитающих, в частности белух, широко распространен в гематологии (Geraci et al., 1968; Cornell et al., 1988; St. Aubin, Geraci, 1989; St. Aubin, Dierauf, 2001; Tryland et al., 2006; Norman et al., 2012, 2013; Chou et al., 2019; Lauderdale et al., 2021). Гематологические показатели характеризуют функциональное состояние китообразных, что дает возможность установить индивидуальные значения для каждого животного, содержащегося в условиях океанариума или дельфинария (Cornell et al., 1988; Norman et al., 2012, 2013; Lauderdale et al., 2021). Большая часть исследований крови проводится путем анализа клинических и биохимических данных, полученных аппаратным путем, изучение же морфологии клеток крови играет чаще вспомогательную роль (Кавцевич, 2011).

Цитология представляет собой микроскопическое исследование морфологии клеток организма и является легкодоступным диагностическим инструментом, несущим ценную информацию о здоровье и состоянии органов (Sweeney et al., 1999). Как и большинство диких животных, китообразные часто маскируют ранние клинические признаки заболевания. Однако патологиче-

ские процессы в организме вызывают цитологические аномалии, которые можно обнаружить до проявления первых признаков болезни. Регулярный цитоморфологический мониторинг крови позволит своевременно оценивать состояние здоровья китообразных (Кавцевич, 2011).

Образ жизни китообразных неразрывно связан с водной средой обитания, благодаря чему они получили ряд адаптаций, среди которых способность к длительной задержке дыхания и глубоководному погружению. (Pabst et al., 1999; Wartzok, Ketten, 1999). Эти и другие адаптации отразились на терморегуляции, кровяной и иммунной системах китообразных. Морфологические характеристики некоторых клеток крови также имеют особенности по сравнению с таковыми наземных млекопитающих (Кавцевич, 2011).

Цитоморфология – важная часть исследования, которая совместно с аппаратным и биохимическим анализом крови поможет спрогнозировать состояние организма животных. Существуют ветеринарные гематологические атласы (Риган и др., 2014; Harvey, 2012), по которым специалисты изучают цитологию клеток крови наземных млеко-

питающих, но таких атласов для морских млекопитающих не существует.

Имеются лишь единичные исследования по изучению морфологии клеток крови: с помощью электронного микроскопа исследовали клетки крови белухи *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) (Williams et al., 1991) и ирвадийского дельфина *Orcaella brevirostris* (Owen in Gray, 1866) (Somporn et al., 2010). В то же время работы, посвященные морфологии и размерам клеток крови белух с применением стандартного цитологического метода окрашивания по Романовскому–Гимзе, в литературе малочисленны (Stacy, Nollens, 2022), до сих пор нет данных о наличии и численности базофилов в циркулирующем пуле лейкоцитов китообразных (Cornell et al., 1988; Bossart, 1995; Dierauf, Gulland, 2001; Gulland et al., 2018).

Цель настоящей работы – изучить и описать морфологию клеток крови белухи *D. leucas*.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследование мазков периферической крови было проведено на восьми белухах *Delphinapterus leucas* (Monodontidae). После отлова, в возрасте 2–3 лет, животные поступали в НОК “Приморский океанариум” – филиал ННЦМБ ДВО РАН, в 2010–2012 гг. Возраст белух на момент начала исследования (2019 г.) составлял: 2 самца – 11 лет, 3 самки – 10 лет, 1 самец – 10 лет, 2 самки – 9 лет. Определение возраста белух проводили специалисты по отлову морских млекопитающих, ориентируясь на размеры и окрас особей. В статье представлены данные по препаратам крови белух, полученные в ходе ежемесячной диспансеризации с 2019 по 2022 гг.

Ветеринарные врачи проводили отбор крови у восьми половозрелых особей клинически здоровых белух. Образцы крови собирали при помощи катетеров-бабочек (0.80 × 19 мм, 21G) и шприцев на 10 мл в пробирки с ЭДТА из вены хвостового плавника и передавали в клиническую лабораторию Приморского океанариума для последующего анализа.

Для описания морфологии эритроцитов и лейкоцитов были изготовлены мазки крови на предметных стеклах по стандартному протоколу. Полученные мазки фиксировали раствором по Май-Грюнвальду (“БиоВитрум”, Россия) и окрашивали красителем по Романовскому–Гимзе (“МиниМед”, Россия). Для описания морфологии ретикулоцитов проводили суправитальную окраску эритроцитов бриллиантовым крезиловым синим (НПФ “АБРИС+”, Россия) с последующим изготовлением мазка на предметном стекле и высушиванием. Для описания базофилов было проведено окрашивание препаратов метиленовым синим (НПФ “АБРИС+”, Россия). Для идентификации окра-

шенных клеток оценивали цвет цитоплазмы, внешний вид и структуру ядра, размер, цвет и количество гранул в клетках крови.

Готовые препараты изучали под микроскопом Axio Scope.A1 с использованием цифровой камеры AxioCam 105 Color (Carl Zeiss, Германия) и программы ZEN 2.3. Исследование морфологии клеток осуществляли при увеличении объектива 100x с масляной смесью Immersol 518N (Carl Zeiss, Германия). Диаметр клетки в программе ZEN 2.3 измеряли с помощью инструмента Length вручную на готовом изображении. Предварительно была произведена калибровка измерительной линейки в программе ZEN 2.3 с помощью объект-микрометра. Всего было исследовано 308 препаратов крови белух. Для микрофотографий и измерений выбирали свободнолежащие клетки округлой формы с четкими границами. Было измерено по 250 клеток наиболее многочисленных типов (эритроциты, сегментоядерные нейтрофилы, моноциты, лимфоциты, эозинофилы, тромбоциты), 60 клеток метарубрицитов (нормобластов), по 100 клеток ретикулоцитов и палочкоядерных нейтрофилов и 48 клеток базофилов.

Обработку полученных результатов проводили при помощи пакетов программ GraphPad Prism 4.0, Excel. Результаты измерений диаметра клеток каждого типа представлены как среднее значение ± стандартное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В периферической крови *Delphinapterus leucas* встречаются все типичные для млекопитающих клетки крови: эритроциты, тромбоциты, нейтрофилы, эозинофилы, базофилы, моноциты и лимфоциты (рис. 1).

Результаты измерений клеток крови белух, а также клеток крови некоторых морских и наземных млекопитающих представлены в табл. 1.

Незрелые клетки крови и включения

Помимо зрелых форменных элементов мы обнаружили ювенильные формы: метарубрициты (нормобласты), ретикулоциты, палочкоядерные нейтрофилы. Также в небольшом количестве присутствовали эритроциты с фрагментами ядерного материала – тельцами Хауэлла–Жолли (рис. 1).

Эритроциты

Эритроциты в периферической крови белух представлены зрелыми и незрелыми формами. Незрелые формы эритроцитов – это метарубрициты и ретикулоциты (рис. 1a2, 1a3). Метарубрициты (9.9 ± 0.8 мкм) – ядродержащие клетки, с круглым ядром и сильно конденсированным хроматином. Ядро располагается в центре или может

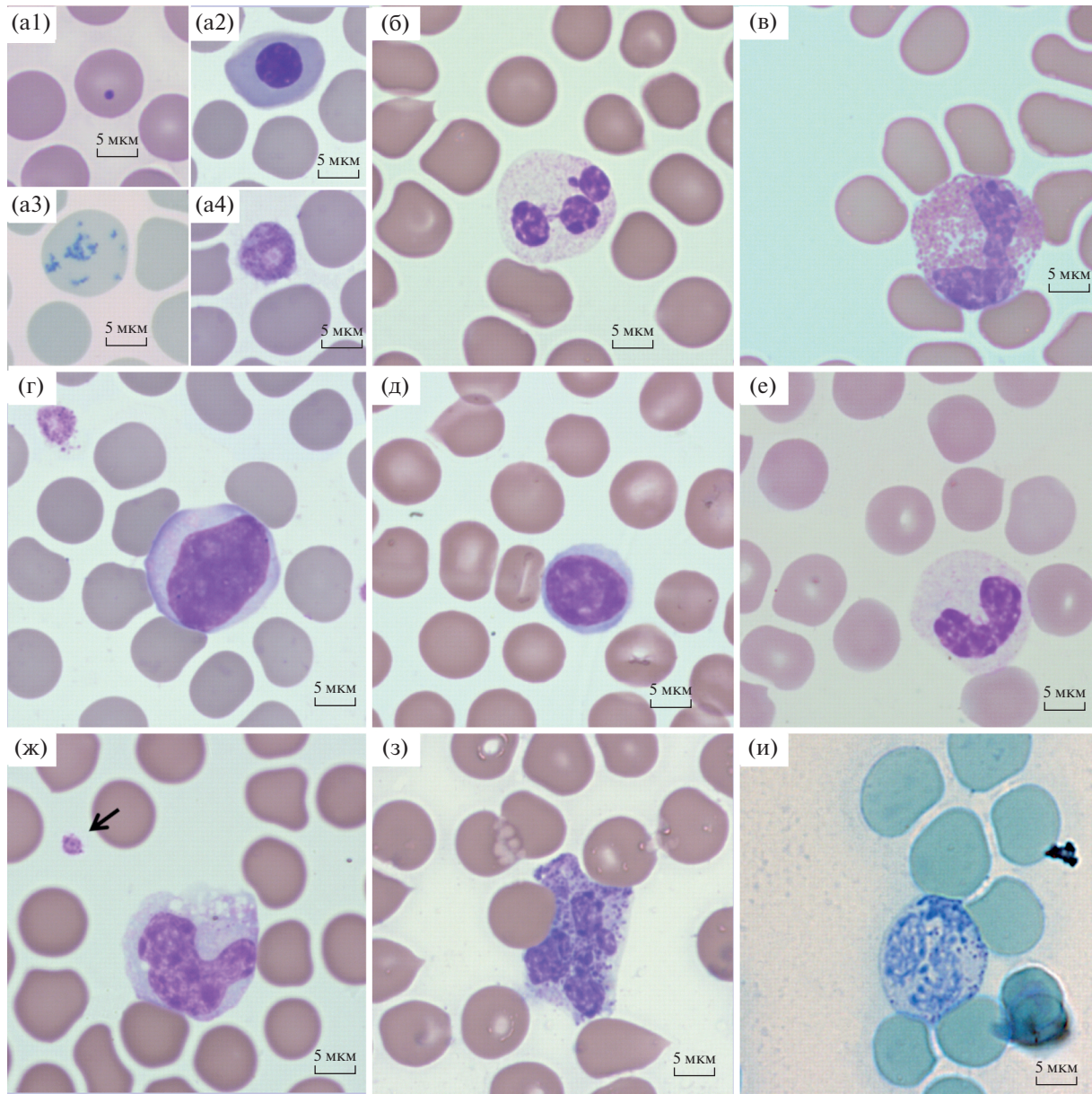


Рис. 1. Форменные элементы периферической крови белух *Delphinapterus leucas*: (a1) – эритроцит с тельцем Хауэлла–Жолли; (a2) – метарубрицит (нормобласт); (a3) – ретикулоцит; (a4) – макротромбоцит; (б) – сегментоядерный нейтрофил; (в) – эозинофил; (г) – большой лимфоцит; (д) – малый лимфоцит; (е) – палочкоядерный нейтрофил; (ж) – моноцит (стрелкой указан тромбоцит); (з) – базофил; (и) – базофил с синими базофильными гранулами. Ув. об. ×100. a1, a2, a4, б–з – окрашивание по Романовскому–Гимзе; а3 – окрашивание бриллиантовым крезильвым синим; и – окрашивание метиленовым синим.

быть смещено к периферии. В зависимости от стадии зрелости цвет цитоплазмы варьирует от голубого до красно-голубого (рис. 1a2). Ретикулоциты (10.3 ± 0.8 мкм) – это ювенильная форма эритроцитов, характеризующаяся наличием в цитоплазме ретикулула, который окрашивается бриллиантовым крезильвым синим в темно-синий цвет (рис. 1a3). Ретикулоциты представляют собой эритроидные клетки периферической крови, находящиеся в дискретной предпоследней фазе созревания. Ядро удаляется обычно до того, как

эритроциты попадают в периферическую кровь. Размер зрелых эритроцитов – 8.6 ± 0.7 мкм. Они представляют собой клетки дисковидной двояковогнутой формы. В популяции эритроцитов часто присутствует анизоцитоз, а центральная зона просветления не всегда выражена (рис. 1a–1и).

Тромбоциты

Тромбоциты – это безъядерные элементы крови с мелкими включениями и гранулами. Размеры

Таблица 1. Диаметр клеток (мкм) в мазках периферической крови морских и наземных млекопитающих

Тип клеток	Белуха (наши данные)	Белуха (Quay, 1954)	Иравадийский дельфин (Sompong et al., 2010)	Северный олень (Henkel et al., 1999)	Макака (Sakulwira et al., 2008)	Человек (Луговская, Почтарь, 2011)
Метарубрициты (нормобласты)	9.9 ± 0.8	—	—	—	—	8–12
Ретикулоциты	10.3 ± 0.8	—	—	—	—	7.7–8.5
Эритроциты	8.6 ± 0.7	9.0	6–7	—	7.0 ± 0.5	7.2–7.5
Нейтрофилы	14.1 ± 1.1	17.0	10–12	18–25	12.0 ± 1.3	10–16
Эозинофилы	14.0 ± 1.2	14.5	8–10	25–30	12.0 ± 1.3	10–12
Базофилы	13.0 ± 1.9	17.0	—	18–30	11.5 ± 1.5	10–15
Моноциты	15.0 ± 2.2	13.1	14–16	25	14.0 ± 1.5	14–20
Лимфоциты	10.8 ± 1.3	8.2	8–10	15–35	11.0 ± 1.5	7–12
Тромбоциты	3.5 ± 1.7	—	1–2	—	2.5 ± 1.0	2–4

Примечание. Данные измерений указаны как среднее значение ± стандартное отклонение, “—” — нет данных.

тромбоцитов варьируют и составляют 3.5 ± 1.7 мкм (рис. 1а4, 1ж). Большой разброс в размерах тромбоцитов связан с тем, что в крови белух встречаются макротромбоциты (рис. 1а4).

Гранулоциты

Нейтрофилы. В окрашенных по Романовскому–Гимзе мазках крови белух нейтрофилы — наиболее многочисленный тип лейкоцитов, который составляет 44–84%. Это округлые клетки размером 14.1 ± 1.1 мкм с мелкими гранулярными включениями розового цвета в светло-розовой цитоплазме и небольшим базофильным ядром неправильной формы. В зависимости от формы ядра эта популяция клеток делится на две группы: палочкоядерные и сегментоядерные нейтрофилы. По нашим данным, палочкоядерные нейтрофилы в крови клинически здоровых белух встречаются в количестве 1–6%. Это молодые клетки с несегментированным ядром палочковидной формы (рис. 1е). Количество сегментоядерных нейтрофилов в крови белух составляет 43–78%. Ядра этих клеток разнообразны по форме и имеют разную степень сегментации в зависимости от зрелости: чем старше клетка, тем большее количество сегментов имеет ее ядро (рис. 1б). Отдельные сегменты ядра последовательно соединены друг с другом нитями хроматина. Количество сегментов у ядер нейтрофилов составляло от 3 до 7.

Эозинофилы. Количество эозинофилов в крови *D. leucas* — 1–17%. Размер клеток сходен с размером нейтрофилов и составляет 14.0 ± 1.2 мкм. Цитоплазма эозинофилов окрашена в светло-голубой цвет и содержит множество крупных, округлой формы красноватых зерен разного размера (рис. 1в). Ядра эозинофилов похожи на ядра нейтрофилов, но, как правило, имеют меньшее количество сегментов (2–4).

Базофилы. Количество базофилов в периферической крови белух крайне мало и составляет 0–1%. Более того, современные приборы крайне редко обнаруживают данный тип клеток. Светло-голубая цитоплазма содержит небольшое количество базофильных гранул сине-фиолетового цвета разного размера: от крупных до пылевидных (рис. 1з, 1и). Слабо сегментированное ядро имеет, как правило, не более трех частей, при этом хроматин менее конденсирован, чем в ядрах нейтрофилов, и имеет зоны просветления. Размер базофилов — 13.0 ± 1.9 мкм. Для выявления базофильных гранул была проведена дополнительная окраска метиленовым синим, поскольку он способен соединяться с гепарином (Григорьев, Коржевский, 2021), содержащимся в этом типе клеток. Таким образом нами были обнаружены базофильные клетки с разнородными базофильными гранулами и двухлопастным ядром (рис. 1и).

Агранулоциты

Моноциты. Количество моноцитов в крови белух — 3–14%. Моноциты весьма разнообразны по размерам, форме и цитоплазматическому содержанию. Размер моноцитов варьирует и составляет 15.0 ± 2.2 мкм. Цитоплазма серо-голубого цвета часто содержит вакуоли. Базофильное ядро обычно бобовидное или неправильной формы, образующей лопасти. Хроматин слабоконцентрированный, кружевной, с небольшим количеством зон конденсации (рис. 1ж).

Лимфоциты. Количество лимфоцитов среди общего числа лейкоцитов — 7–42%. Клетки этого типа обычно имеют округлую форму и разнообразны по размеру (10.8 ± 1.3 мкм). Были обнаружены как большие (рис. 1г), так и малые лимфоциты (рис. 1д). Светло-серая цитоплазма образует тонкое кольцо вокруг крупного ядра, изредка со-

держит розовые включения. Ядро интенсивной пурпурно-синей окраски, хроматин тяжистый, сгруппированный.

ОБСУЖДЕНИЕ

В окрашенных по Романовскому–Гимзе мазках периферической крови белухи *Delphinapterus leucas* выявлены все типичные для млекопитающих клетки крови – эритроциты, лейкоциты и тромбоциты. Все виды клеток крови белухи морфологически сходны с таковыми млекопитающих. Однако существует вариация в размерах этих клеток у разных видов (табл. 1) (Quay, 1954; Sakulwira et al., 2008; Somporn et al., 2010). Несмотря на растущее количество исследований по морским млекопитающим, данные по морфологическим параметрам клеток крови этих животных в литературе немногочисленны.

Полученные нами результаты распределения лейкоцитов в периферической крови белух сходны с таковыми наземных млекопитающих, что согласуется с опубликованными ранее данными (Williams et al., 1991). Морфологические признаки зрелых эритроцитов большинства млекопитающих сходны: у них отсутствует ядро, клетки имеют форму двояковогнутого диска и красноватый цвет при окрашивании стандартными цитологическими красителями препаратов периферической крови (Риган и др., 2014). Различия этих клеток у разных видов животных заключаются в размерах, форме, включениях ядерного материала и интенсивности просветления центральной зоны.

Эритроциты белух сходны с таковыми других млекопитающих, однако, как показали результаты нашего исследования, средние размеры эритроцитов у белух несколько крупнее, чем у дельфинов, человека и некоторых наземных млекопитающих (Луговская, Почтарь, 2011; Sakulwira et al., 2008; Somporn et al., 2010). Зона просветления в эритроцитах белух присутствует не всегда, в то время как у собак она выражена наиболее явно, а у кошек, лошадей и жвачных животных – намного слабее (Риган и др., 2014). Нами было отмечено, что у белух, как у многих представителей крупного рогатого скота (Harvey, 2012), в крови в норме наблюдается небольшой анизоцитоз (присутствие эритроцитов различного диаметра). Помимо этого, в зрелых эритроцитах клинически здоровых белух нами были обнаружены тельца Хауэлла–Жолли. Они представляют собой фиолетовые округлые включения – остатки ядерного материала. У человека наличие таких телец обычно сопряжено с патологией селезенки и некоторыми видами анемий, в то время как у кошек и лошадей это является вариантом нормы (Harvey, 2012; Lynch, 1990). Сообщается, что у морских млекопитающих встречаются тельца Хауэлла–Жолли в количестве 1–5% в нормальных эритро-

цитах, но не ясно, у каких видов животных они были обнаружены (Weiss, Wardrop, 2010).

Также в крови белух были определены эритроидные клетки на разных этапах созревания – метарубрициты и ретикулоциты. Ретикулоциты представляют собой эритроидные клетки периферической крови с остаточной РНК, которая обычно денатурирует: у собак спустя 24 ч, у кошек до 10 сут; у лошадей в норме они никогда не выходят в кровоток (Bessman, 1990; Meyer, Harvey, 2004). Появление значительного количества метарубрицитов в периферической крови у большинства наземных млекопитающих говорит о патологическом процессе: регенераторной анемии, поражении костного мозга, отравлении тяжелыми металлами, наличии острой воспалительной реакции (Meyer, Harvey, 2004), в то время как мы обнаруживали их в небольшом количестве у клинически здоровых животных. Таким образом, очевидно, что для наземных животных появление незрелых форм клеток ассоциировано с патологическими процессами в организме, а для белух это, по-видимому, является нормой, поскольку они встречались у особей без признаков каких-либо заболеваний.

В периферической крови белух встречаются крупные тромбоциты размером до 8–10 мкм – макротромбоциты. Нормальный размер тромбоцитов человека 1.5–3 мкм (Robieg, 2020). Клетки с размерами 3–7 мкм являются макротромбоцитами, а от 7 до 20 мкм – гигантскими тромбоцитами, и в здоровом организме таких клеток менее 5% (Palmer et al., 2015). Следует отметить, что размер тромбоцитов имеет важное диагностическое значение, поскольку наличие анизоцитоза тромбоцитов может быть ассоциировано с разными патологическими процессами в организме (Palmer et al., 2015). Серым тюленям также свойственно наличие крупных тромбоцитов (Кавцевич, 2011). Присутствие тромбоцитов разного диаметра может быть связано с адаптацией к водному образу жизни животных. Также морские млекопитающие могут компенсировать относительно низкое общее количество тромбоцитов, содержание которых у белух составляет $67 \pm 19 \times 10^9/\text{л}$, что ниже, чем у наземных млекопитающих: у собаки $160\text{--}550 \times 10^9/\text{л}$, кошки $160\text{--}630 \times 10^9/\text{л}$, лошади $80\text{--}400 \times 10^9/\text{л}$ (Бурмистров, 2014).

Из всех лейкоцитов нейтрофилы – наиболее многочисленный тип клеток. Преобладание нейтрофилов в лейкоцитарной формуле типично как для наземных, так и для морских млекопитающих (Кавцевич, 2011). Сегментоядерные нейтрофилы имеют сходную морфологию с такими клетками других млекопитающих. Однако данные о наличии палочковидных нейтрофилов у морских млекопитающих неоднозначны. Этот незрелый тип нейтрофилов в периферической крови обычно

появляется в ответ на острые инфекционные или воспалительные состояния (Dierauf, Gulland, 2001). В нашем исследовании таких клеток было обнаружено от 1 до 6%, хотя у здоровых особей в норме их бывает до 11% от всех лейкоцитов (Gerasi et al., 1968; MacNeil, 1975; Williams et al., 1991). В тоже время другие источники не представляют данных по этому типу клеток (Cornell et al., 1988; Norman et al., 2012; Romanov et al., 2016).

Неоднозначны и сведения о наличии в периферической крови белух базофильных гранулоцитов. У китообразных они не выявляются либо обнаруживаются крайне редко (Cornell et al., 1988; Bossart, 1995; Dierauf, Gulland, 2001; Gulland et al., 2018). Было показано, что в периферической крови ластоногих встречается 0–2% базофилов (Кавцевич, 2011). В работе Вильямса с соавторами (Williams et al., 1991) представлены фотографии данного типа клеток, полученные при помощи электронной микроскопии. У иравдийского дельфина было найдено малое количество базофилов (Somporn et al., 2010). Мы обнаружили этот немногочисленный тип клеток в крови белух на препаратах, окрашенных по Романовскому–Гимзе и метиленовым синим. Базофилы белух отличаются от базофилов наземных млекопитающих меньшим количеством базофильных гранул разного размера. Базофильные нейтрофилы редко встречаются в крови дельфинов (Satyaningtijas et al., 2020). Возможно, наличие такого малого количества базофильных гранулоцитов у морских млекопитающих связано с адаптацией к водной среде, где встреча с аллергическими агентами или возникновение воспалительных реакций, в которых участвует этот тип клеток, крайне мала. Более того, среда может способствовать адаптации разных систем организма к условиям обитания. Так, например, у северных оленей было обнаружено 2 типа базофилов. Первый тип содержал различное количество крупных прозрачных вакуолей, интенсивно базофильных гранул в цитоплазме. Второй тип был сходен с таковыми других жвачных животных и характеризовался многочисленными бледными или темными базофильными гранулами в цитоплазме (Henkel et al., 1999).

Моноциты белух разнообразны по форме, размерам и внутреннему содержанию цитоплазмы, форме ядра, но при этом морфологически идентичны таковым у наземных млекопитающих. Схожие характеристики этого вида клеток для морских млекопитающих были описаны ранее (Somporn et al., 2010; Кавцевич, 2011; Satyaningtijas et al., 2020).

Лимфоциты не имеют значительных отличий по сравнению с другими видами животных. Как и у наземных, у морских млекопитающих существует некоторая разница в размерах этих клеток, вариация в форме ядра и цитоплазматическом со-

отношении (Somporn et al., 2010; Кавцевич, 2011; Satyaningtijas et al., 2020).

Исследование мазков периферической крови, окрашенных стандартным красителем по Романовскому–Гимзе, является важным инструментом для ранней диагностики различных заболеваний, анемий и патологических процессов, которые могут развиваться у белух. Проведение комплексных исследований каждой особи, включающих как клинический и биохимический анализы крови, так и тщательное морфологическое исследование клеток крови, будет способствовать пониманию текущего физиологического состояния животных.

Сопоставление между собой результатов морфологического исследования мазков периферической крови белух поможет создать исходную базу данных и отслеживать динамику изменений. Результаты проделанной работы предоставляют исходные данные для использования в мониторинге здоровья и диагностике состояния организма морских млекопитающих.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Экспериментальное исследование, представленное в данной статье, было проведено с одобрения Комиссии по биоэтической этике ННЦМБ ДВО РАН от 8 декабря 2022 г.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена на базе ЦКП “Приморский океанариум”, ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бурмистров Е.Н. Шанс био: лабораторная диагностика. М.: Шанс-Био. 2014. 190 с.
- Григорьев И.П., Коржевский Д.Э. Современные технологии визуализации тучных клеток для биологии и медицины (обзор) // Современ. технол. мед. 2021. Т. 13. № 4. С. 93–109.
- Кавцевич Н.Н. Морфологические и цитохимические особенности клеток крови морских млекопитающих в связи с адаптацией к среде обитания // Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск. 2011. 39 с.
- Луговская С.А., Почтарь М.Е. Гематологический атлас. 3-е изд., доп. М.: Кафедра КЛД. 2011. 368 с.
- Риган В., Сандерс Т., Деникола Д. Атлас по ветеринарной гематологии. М.: Аквариум. 2014. 136 с.

- Bessman D.J.* Reticulocytes // Clinical methods: the history, physical, and laboratory examinations. Boston: Butterworths. 1990. 3rd ed. Ch. 156. 1118 p.
- Bossart G.D.* Immunocytes of the Atlantic bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) and West Indian manatee (*Trichechus manatus latirostris*): morphologic characterizations and correlations between healthy and disease states under free-ranging and captive conditions // Doctoral Dissertation, Florida International University Miami. Florida. 1995. 183 p. <https://doi.org/10.25148/ETD.FI14051802>
- Choy E.S., Campbell K.L., Berenbrink M. et al.* Body condition impacts blood and muscle oxygen storage capacity of free-living beluga whales (*Delphinapterus leucas*) // J. Exp. Biol. 2019. V. 222. jeb191916.
- Cornell L.H., Duffield D.S., Joseph B.E. et al.* Hematology and serum chemistry values in the beluga (*Delphinapterus leucas*) // J. Wildl. Dis. 1988. V. 24. P. 220–224.
- CRC Handbook of Marine Mammal Medicine. 2nd ed. *Die-rauf L.A., Gulland F.*, Eds. Boca Raton: CRC Press. 2001.
- CRC Handbook of Marine Mammal Medicine. 3rd ed. *Gulland F., Dierauf L.A., Whitman K.L.*, Eds. Boca Raton: CRC Press. 2018.
- Geraci J.R., Medway W., Fink H. et al.* Studies on the hematology of the beluga whale *Delphinapterus leucas* (Pallas) // Proceedings of the second symposium on diseases and husbandry of aquatic mammals. Boca Raton: Florida. Florida Atlantic Univ. press. 1968. P. 63–74.
- Harvey J.W.* Veterinary hematology: a diagnostic guide and color atlas. St. Louis: Saunders/Elsevier. 2012. 384 p.
- Henkel K.A., Swenson C.L., Richardson B. et al.* Morphology, Cytochemical Staining and Ultrastructural Characteristics of Reindeer (*Rangifer tarandus*) Leukocytes // Veterinary Clinical Pathol. 1999. V. 28. № 1. P. 8–15.
- Lauderdale L.K., Walsh M.T., Mitchell K.A. et al.* Health reference intervals and values for common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*), Indo-Pacific bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*), Pacific white-sided dolphins (*Lagenorhynchus obliquidens*), and beluga whales (*Delphinapterus leucas*) // PLoS One. 2021. V. 16. № 8. P. e0250332.
- Lynch E.C.* Peripheral blood smear, in Clinical Methods: the History, Physical, and Laboratory Examinations. 3rd Ed. Chapter 155. Boston: Butterworths. 1990.
- MacNeil A.C.* Blood values for some captive cetaceans // Canadian Veterinary J. 1975. V. 16. P. 187–193.
- Meyer D.J., Harvey J.W.* Veterinary laboratory medicine. Interpretation and diagnosis. St. Louis: Saunders. 2004. 3rd ed. p. 368.
- Norman S.A., Beckett L.A., Miller W.A. et al.* Variation in hematologic and serum biochemical values of belugas (*Delphinapterus leucas*) under managed care // J. Zoo Wildl. Med. 2013. V. 44. № 2. P. 376–388.
- Norman S.A., Goertz C.E., Burek K.A. et al.* Seasonal hematology and serum chemistry of wild beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in Bristol Bay, Alaska // J. Wildl. Dis. 2012. V. 48. P. 21–32.
- Pabst D.A., Rommel S.A., McLellen W.A.* The functional morphology of marine mammals, in Biology of Marine Mammals. Washington: Smithsonian Institution Press. 1999. P. 15–72.
- Palmer L., Briggs C., McFadden S. et al.* ICSH recommendations for the standardization of nomenclature and grading of peripheral blood cell morphological features // Int. J. Lab. Hem. 2015. V. 37. P. 287–303.
- Quay W.B.* The blood cells of Cetacea with particular reference to the beluga (*Delphinapterus leucas* Pallas, 1776) // Säugetierkundliche Mitteil. 1954. V. 2. P. 49–54.
- Robier C.* Platelet morphology // J. Lab. Med. 2020. V. 44. № 5. P. 231–239.
- Romanov V.V., Shpak O.V., Naydenko S.V. et al.* Hematology, plasma chemistry, and hormonal status as health indices in newly captured beluga whales (*Delphinapterus leucas*). International association for aquatic animal medicine 47th annual IAAAM meeting and conference (Virginia, 2016). Virginia Beach. 2016.
- Sakulwira K., Pothiwong W., Prachammuang P. et al.* Ultrastructures of red blood cells, white blood cells and platelets in four species of macaques in Thailand // Thai J. Vet. Med. 2008. V. 38. № 3. P. 19–25.
- Satyaningtijas A.S., Indrawati A., Syarafina R.F. et al.* Erythrocytes and leukocytes profiles of bottlenose dolphins (*Tursiops aduncus*) at conservation site // Biodiversitas. 2020. V. 21. № 7. P. 3359–3363.
- Somporn L., Wangnaitam S., Sutanonpaiboon J. et al.* Morphological, cytochemical and ultrastructural studies of blood cells in Irrawaddy river dolphin (*Orcaella brevirostris*): a case study // The Thai Vet. Med. 2010. V. 40. № 3. P. 331–335.
- Stacy N.I., Nollens H.H.* Hematology of Marine Mammals // Schalm's Veterinary Hematology. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2022. 7th ed. Ch. 122. P. 1104–1113.
- St. Aubin D.J., Geraci J.R.* Adaptive changes in hematologic and plasma chemical constituents in captive beluga whales, *Delphinapterus leucas* // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1989. V. 46. № 5. P. 796–803.
- St. Aubin D.J., Dierauf L.A.* Stress and Marine Mammals // CRC Handbook of marine mammal medicine. Boca Raton: CRC Press. 2001. 2nd ed. P. 253–269.
- Sweeney J.C., Reddy M.L., Lipscomb T.P. et al.* Handbook of cetacean cytology. San Diego: Dolphin Quest, Inc. 1999. 1st ed. P. 41.
- Tryland M., Thoresen S.I., Kovacs K.M. et al.* Serum chemistry of free-ranging white whales (*Delphinapterus leucas*) in Svalbard // Vet. Clin. Pathol. 2006. V. 35. P. 199–203.
- Wartzok D., Ketten D.R.* Marine mammal sensory systems // Biology of marine mammals. Washington: Smithsonian Institution Press. 1999. P. 117–175.
- Weiss D.J., K. Wardrop J.* Schalm's Veterinary Hematology. New York: John Wiley & Sons. 2010. 6th ed. P. 1232.
- Williams C.R. III, Chapman G.B., Blake A.S.* Ultrastructural study of the blood cells of the beluga whale, *Delphinapterus leucas* // J. Morphol. 1991. V. 209. № 1. P. 97–110.

Blood Cell Morphology of the Beluga Whale *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776)**P. V. Mischenko^{a, b}, V. A. Yachmen^{a, b}, E. N. Andrianova^b, and P. G. Zakharenko^b**^a*Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch,
Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041 Russia*^b*“Primorsky Aquarium”, Branch of NSCMB FEB RAS, Vladivostok, 690922 Russia*

Clinical blood analysis, combined with cytomorphological examination is an important diagnostic tool for assessing the physiological state of animals. The cytomorphological features of blood cells have been described for terrestrial mammals, and well-illustrated veterinary atlases have been created, in which normal and pathological forms of animal blood cells are displayed. However, such information is virtually non-existent for marine mammals. In this article, we present the results of a study of the morphology of the blood cells of the beluga (also known as white) whale *Delphinapterus leucas*, obtained by supravital staining of blood smear preparations with brilliant cresyl blue, methylene blue, and utilizing the standard Romanowsky–Giemsa staining technique. We describe the main types of blood cells of marine mammals: erythrocytes, segmented neutrophils, eosinophils, monocytes, lymphocytes, band neutrophils, as well as rare basophils.

Keywords: white whale, *Delphinapterus leucas*, cytomorphology, blood cells, leukocytes, basophils, erythrocytes, platelets