

<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s154>

УДК 61.619+61.612+636.03:УДК 61.619+61.612+636.03

Методы тензиометрии в оценке физиолого-биохимического статуса человека и ряда животных

С. Ю. Зайцев¹, И. С. Зайцев²

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

² Департамент по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности города Москвы, Москва, Россия

Корреспонденция:**Зайцев Сергей Юрьевич**

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), 125080, г. Москва, Волоколамское ш., 11.
E-mail: s.y.zaitsev@mail.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов

Поступила: 08.11.2022**Принята:** 18.12.2022**Опубликована:** 30.12.2022**Copyright:** © 2022 Авторы**АННОТАЦИЯ**

Введение. Существующая литература исследует разнообразные аспекты как метода динамической тензиометрии на базе измерения динамического поверхностного натяжения (ДПН) крови, так и его использования в оценке биохимических и физиологических параметров животных. Несмотря на доказанную пользу методов ДПН в медицине человека, эти методы недооценены в современной физико-химической биологии и ветеринарии.

Цель. В связи с этим целью обзора является описание методологических основ определения ДПН биологических жидкостей животных, выявление его особенностей в зависимости от физиологического состояния организма, биохимического состава сыворотки крови при совершенствовании методов ранней диагностики болезней животных.

Материалы и методы. Материалами служат научные статьи, описывающие образцы сыворотки крови человека, лошадей и коров, проанализированные двумя методами динамической тензиометрии.

Результаты. В результате проведен подробный анализ 84 исследований, связанных как с методами ДПН, так и с их использованием в оценке параметров крови, который позволил выявить корреляции ДПН и биохимических параметров крови человека, лошадей и коров. В дополнение к изложению особенностей измерения разных методов динамической тензиометрии, в обзоре предметного поля обобщены их эмпирически выявленные предпосылки и последствия в этой области. Как для коров, так и для кобыл наблюдается большое количество сильных корреляционных связей между биохимическими показателями и ДПН крови.

Выводы. Таким образом, изменения биохимии крови, связанные со структурно-функциональным развитием животных в онтогенезе согласуются с изменениями значений ДПН крови, что отражается в величинах корреляций и дает возможность практического использования полученных фундаментальных результатов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

биохимия и физиология животных, методы диагностики, динамическая тензиометрия, поверхностное натяжение крови

Для цитирования: Зайцев, С. Ю., & Зайцев, И. С. (2022). Методы тензиометрии в оценке физиолого-биохимического статуса человека и ряда животных. *Health, Food & Biotechnology*, 4(4), 16–34. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s154>

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы номер FSMF-2022-0003 (Министерства высшего образования и науки Российской Федерации) научно-исследовательской лаборатории офтальмологии, онкологии и биохимии животных ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)» (Москва, Россия).



<https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s154>

Methods of Dynamic Tensiometry in Assessing the Biochemical Status of Animals

Sergei Yu. Zaitsev¹, Ilya S. Zaitsev²

¹ Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia

² Moscow Department for Civil Defense, Emergency Situations and Fire safety, Moscow, Russia

Correspondence:

Sergei Yu. Zaitsev,
Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), 11, Volokolamskoe
sh., Moscow, 125080, Russia.
E-mail: s.y.zaitsev@mail.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 08.11.2022
Accepted: 18.12.2022
Published: 30.12.2022

Copyright: © 2022 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The existing literature explores various aspects of both the method of dynamic tensiometry based on the measurement of dynamic surface tension (DST) of blood, and its use in assessing the biochemical and physiological parameters of animals. Despite the proven usefulness of DPN methods in human medicine, these methods are underestimated in modern physicochemical biology and veterinary medicine.

Purpose. In this regard, the aim of the review is to describe the methodological foundations for determining the DPN of animal biological fluids, identifying its features depending on the physiological state of the organism, the biochemical composition of blood serum while improving methods for the early diagnosis of animal diseases.

Materials and Methods. The materials are research articles describing blood serum samples of humans, horses and cows, analyzed by two methods of dynamic tensiometry.

Results. As a result, a detailed analysis of 84 studies related both to DPN methods and their use in assessing blood parameters was carried out, which made it possible to identify correlations between DPN and biochemical blood parameters in humans, horses and cows. In addition to presenting the measurement features of different methods of dynamic tensiometry, the review of the subject field summarizes their empirically identified prerequisites and consequences in this area. Both for cows and mares, there are a large number of strong correlations between biochemical parameters and blood DPN.

Conclusion. Thus, changes in blood biochemistry associated with the structural and functional development of animals in ontogeny are consistent with changes in blood DPN values, which is reflected in the magnitudes of correlations and makes it possible to apply the obtained fundamental results in practice.

KEYWORDS

biochemistry and physiology of animals, diagnostic methods, dynamic tensiometry, blood surface tension

To cite: Zaitsev, S. Yu., & Zaitsev, I. S. (2022). Methods of tensiometry in assessing the physiological and biochemical status of humans and a number of animals. *Health, Food & Biotechnology*, 4(4), 16–34. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s154>

Funding. The research was done within the framework of the project FSMF-2022-0003 (Ministry of Higher Education and Science of the Russian Federation) of the Research Laboratory of Ophthalmology, Oncology and Animal Biochemistry of the Russian Biotechnological University (BIOTECH University) (Moscow, Russia).



ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время всё более очевидной становится значимость определения интегрального биохимического статуса (ИБС) животного при определении физиологических процессов развития и жизнедеятельности его органов, тканей, систем и организма в целом (Зайцев, 2017; Казаков, 2000; Кононский, 1992; Лысов & Максимов, 2004; Хазипов и соавт., 2010; Kaneko et al., 2008; Zaitsev, 2016). ИБС животного определяется складывающимися на определённый период концентрациями липидов, белков и других соединений, обладающих поверхностной активностью (ПАВ) в крови, в тканях и органах (Барсуков, 1998; Зайцев, 2016; Казаков и соавт., 2003; Campbell & Farrell, 2010; Garrett & Grisham, 2005; Nelson & Cox, 2005; Zaitsev et al., 2011; Zaitsev et al., 2020). ПАВ обладают способностью адсорбироваться на жидких границах раздела фаз и изменять поверхностное натяжение (Зайцев, 2007; Рusanов & Прохоров, 1994; Zaitsev, 2015). В организме человека и животных многие физиолого-биохимические процессы происходят на границе раздела фаз с участием ПАВ (Барсуков, 1998; Зайцев, 2015; Зарудная и соавт., 2011; Казаков и соавт., 1995; Zaitsev et al., 2011): связывание кислорода и выделение диоксида углерода, стадии адсорбции и десорбции липидов и белков на межфазной поверхности, функционирование ферментных систем дыхательной цепи митохондрий и другие (Зайцев, 2010; Зарудная и соавт., 2010). У животных и человека многочисленные ПАВ биологических жидкостей образуют адсорбционные монослои (Clark et al., 1995; Grigoriev et al., 1996) на границе раздела фаз (Dan et al., 2015; Douillard et al., 1994), для которых характерны повышение давления при сжатии и гистерезис после расширения (Зайцев, 2006). Эти свойства биологических жидкостей изменяются для больных пациентов (Казаков и соавт., 1997), причём особенно значимо на фоне изменения содержания основных ПАВ в среде биожидкостей (Hrncir & Rosina, 1997; Хомутов и соавт., 2022). Выраженная разбалансировка белкового, углеводного и электролитного гомеостаза (Fathi-Azarbayjani & Jouyban, 2015), которая происходит во время болезни и приводит к изменению физико-химических свойств биологических жидкостей и их динамического поверхностного натяжения (ДПН) (Казаков и соавт., 1999).

В последние годы проведены исследования ДПН сыворотки крови, желчи, мочи, околоплодных вод, респираторной влаги, желудочного сока, слюны, спинномозгового и синовиального ликвора при разных временах существования поверхности раздела фаз у здоровых (Казаков и соавт., 1996) и больных людей (Kazakov et al., 2000; Потапов и соавт., 2021), установлена зависимость между данными ДПН и клиническим течением заболеваний (Казаков, 2000). Изучение ДПН биологических жидкостей (Kazakov et al., 2000), в частности сыворот-

ки крови, зависимости его от качественного и количественного состава крови у человека (Hrncir & Rosina, 1997); и животных (Казаков, 2000) может дать ценную уникальную информацию для ранней оценки ИБС организма (Казаков, 2000) и диагностики его нарушения (Kazakov et al., 2000).

В связи с этим целями и задачами конкретного обзора является описание методологических основ определения ДПН биологических жидкостей животных, выявление его особенностей в зависимости от физиологического состояния организма, биохимического состава сыворотки крови, что является важным направлением в области совершенствования методов ранней диагностики болезней животных.

МЕТОДОЛОГИЯ

Материалы

В обзор были включены статьи, опубликованные на русском, английском и немецком языках в электронных базах данных РНИЦ (<https://www.elibrary.ru/defaultx.asp>), Scopus и WoS. Дополнительно, поиск информации проводился в сборниках конференций по исследуемой тематике (на русском, английском и немецком языках). Поиск был ограничен периодом с 1992 по 2022 год; дата начала соответствует времени, когда стали появляться систематические исследования по динамической тензиометрии крови человека и животных. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, прошедшие процедуру рецензирования, подтверждающую ее качество. При этом статьи имели достаточно высокий индекс цитирования (процитированы в базах данных не менее десяти раз). Статьи из тематических конференций и монографии отбирались исходя из такого же количества их цитирований при обнаружении по следующим ключевым словам: биохимия и физиология животных, методы диагностики, динамическая тензиометрия, поверхностное натяжение крови. Неакадемические материалы о ДПН крови человека и животных не были включены в обзор, т. к. труднодоступны и процитированы в базах данных менее десяти раз.

Процедура исследования

Первичное сканирование баз данных РНИЦ, Scopus и WoS при помощи ключевых слов «биохимия и физиология животных», «методы диагностики», «динамическая тензиометрия», «поверхностное натяжение крови» и их комбинаций, помогло выявить ряд исследований с заданным индексом цитирования. Далее источники были ранжированы в рамках исследуемого временного промежутка. На следующем этапе нами были проана-

лизированы пристатейные списки литературы в выделенных нами для анализа статьях с целью определения их важности и актуальности. Далее нами были проанализированы материалы важнейших профильных конференций за указанный период времени с тем, чтобы дополнить информацию, полученную из статей. Подбор материалов конференций реализовывался по ключевым словам «биохимия и физиология животных», «методы диагностики», «динамическая тензиометрия», «поверхностное натяжение крови» и их комбинаций. В результате этого итеративного поиска было выделено 84 исследования. Выявленные в результате анализа данные и аспекты (при помощи указанных выше ключевых слов) были включены в специальную базу данных. Чтобы классифицировать характер и содержание отобранных исследований, были использованы четыре основные категории критериев: библиографические данные, используемые методологии, концептуальные основы и эмпирические данные.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Методы измерения поверхностного натяжения

Известны десятки методов изучения поверхностного натяжения (ПН), которые основаны 1) на прямом измерении капиллярных сил, действующих на искривлённые или плоские поверхности: метод Дю-Нуи (Русанов, 1994), метод Вильгельми (Paulsson & Dejmek, 1992), метод Ленгмюра (Зайцев, 2006; Фадеев и соавт., 2008; Zaitsev & Solovyeva 2015; Zaitsev et al., 2015), метод капиллярного поднятия (Крылов, 2008), метод статической и динамической капли (Ferri et al., 2001) и другие; 2) анализе формы жидкой поверхности: методы осциллирующей и суживающейся струи (Chen et al., 1998), методы формы капли или пузырька (Hansen & Myrvold, 1995; Chen et al., 1998) и другие; 3) разности давлений над искривленной поверхностью: метод максимального давления в пузырьке (Fainerman & Miller, 2004; Dixit et al., 2012), метод растущей капли (Hansen & Myrvold, 1995) и т.д. (Зайцев, 2016; 2015; 2010). Одним из первых способов исследования жидкостей был метод максимального давления в пузырьке (Fainerman et al., 2004; Fainerman et al., 2006) с помощью прибора Ребиндера (Русанов, 1994). Затем было предложено изучение ПН методом отрыва кольца по Дю-Нуи (Русанов, 1994) и уравнивания пластинок (Зайцев, 2016).

Все способы определения ПН делятся на статические и динамические (Fainerman & Miller, 2004; Butler & Foty, 2011). В статических методах ПН определяется у сформировавшейся поверхности, находящейся в равновесии (Nikolov & Wasan, 2004). Динамические методы ПН связаны с разрушением поверхностного слоя (Pitois et

al., 2005). В случае измерения ПН растворов полимеров (Niño & Patino, 1998) или ПАВ (Fainerman et al., 2004; Dixit et al., 2012), обычно пользуются статическими методами. В ряде случаев равновесие на поверхности может наступать в течение нескольких часов (например, в случае концентрированных растворов полимеров с высокой вязкостью). Динамические методы могут быть применены для определения не только ДПН биожидкостей, особенно растворов белков (Serrien et al., 1992; Makievski et al., 1999; Miller et al., 2001; Miller et al., 2005); оценки ПАВ в альвеолах легких (Robertson et al., 1992; Robertson & Tlusch, 1995), но и равновесного ПН таких систем (Makievski et al., 1997). Например, для растворов стандартных ПАВ после перемешивания ПН равно 58 Дж/м² (Miller et al., 1993), а после длительного отстаивания — 35 Дж/м² (Makievski et al., 1997), то есть поверхностное натяжение изменяется существенно (почти на 40–66 %).

В последние двадцать лет перспективно использовать сочетание нескольких физико-химических методов исследования (Möbius & Miller, 2001) с многопараметрическим анализом и коррекцией данных ДПН (Fainerman et al., 2004). Например, тензиометрии и колебательной спектроскопии — для изучения свойств и активности ферментов (De Brito et al., 2015) и липидных ультратонких пленок (Derde et al., 2015); тензиометрии и температуры (Rosina et al., 2007); электромагнитного излучения с чрезвычайно высокими частотами для изучения параметров крови лабораторных животных (Mikaelyan, 2014); реологических (Dan et al., 2015) и высокоэластических (Noskov & Loglio, 1998; Noskov, 2002) параметров мицеллярных растворов ПАВ.

Для исследования биологических жидкостей в большей степени подходят два метода: максимального давления в пузырьке и метод висящей капли. Метод максимального давления в пузырьке позволяет получать кривую ДПН в диапазоне времени от 0,01 до 100 секунд с воспроизводимостью не менее 0,2 % (Fainerman et al., 2006). В настоящее время выпускается несколько типов приборов, работающих по этому методу PBS (Electronetics Comp., США), Sensadyn (Chem Dyne Research Corp., США), BPA-1P (Sinterface Technologies, ФРГ), MPT2 (Lauda, ФРГ). Адаптированные для измерения биологических жидкостей приборы проводят измерения объёма жидкости до 1 мл (Fainerman et al., 2004).

Преимуществом метода висящей капли является малый объём анализируемой жидкости (менее 0,5 мл), простое и удобное термостатирование пробы, широкий диапазон измерений времени существования капли (от 10 до 10 000 с и более), что дополняет возможности метода максимального давления в пузырьке (Fainerman et al., 2004). Приборы, работающие по этому методу: ADSA-Toronto (Канада), PAT-1 (Sinterface Technologies, ФРГ). Комбинация двух методов, позволяет проводить изме-

рения ДПН во временном интервале от 10–3 до 104 секунд (Fainerman et al., 2006).

Динамическое поверхностное натяжение сыворотки крови лошадей

Одним из показателей функционального становления системы крови в процессе постнатального развития животных является характер и степень изменения ДПН сыворотки крови (Зайцев, 2016). Исследованиями выявлены определённые закономерные возрастные и половые изменения ДПН сыворотки крови животных, в частности — лошадей (Милаёва и соавт., 2006). У месячных жеребят (кобылок) значения ДПН существенно изменяются с возрастом. Так, у кобылок (1 месяц) значения σ_1 – σ_3 на 2–15 % ниже, а значение λ_0 (на 70–103 %) выше по сравнению со взрослыми кобылами (Таблица 1).

После периода интенсивного роста и адаптации к новым условиям значения ДПН сыворотки крови у кобыл 2 лет отличаются от кобылок по следующим показателям: значения σ_1 – σ_3 и λ_1 выше на 3–6 и 13 % соответственно, значение λ_0 ниже на 103 %. У 3 летних кобыл по сравнению с кобылками все значения выше на 5–7 %. В возрасте 4 лет у кобыл выше, чем у кобылок только значения σ_1 и σ_2 на 3 и 7 %, а σ_3 для этих групп животных отличаются незначительно. Существенные отличия получены для значений углов наклона тензиограмм, поскольку эти значения получены на широком интервале при экстраполяции зависимостей ДПН от времени. Так, у 4-летних животных они на 80 % (λ_0) и 50 % (λ_1) выше у животных 4 лет. Для 5 летних кобыл отмечаются более высокие значения σ_0 – σ_3 , они выше на 2–8 %, λ_0 и λ_1 также более высокие, но разница не так велика, как у 4 летних животных, углы наклона больше на 40 и 60 %. Для 6 летних и животных старшей возрастной группы наблюдаются более высокие показатели ДПН, они на 2–6 % выше, чем у кобылок, углы наклона выше у взрослых животных на 50 %.

Таким образом, рост и развитие организма кобыл сопровождается увеличением значений σ_0 , σ_2 для взрос-

лых животных на 6–10 %. Значения σ_3 для взрослых животных незначительно (на 0,5–1,5 %) выше, чем значения, полученные для кобылок, только в возрасте трёх лет σ_3 выше всех других значений на 7 %. Значения λ_0 для кобылок значительно выше, чем для взрослых животных, с возрастом оно изменяется незначительно (ниже на 60–80 % только значения для кобыл 3 и 4 лет). Значения λ_1 для кобылок и животных в возрасте 2–3 лет существенно (на 50–70 %) ниже, чем для животных старшего возраста.

Следовательно, рост и развитие, адаптация организма у лошадей в постнатальный период сопровождаются закономерными изменениями в системе крови, поверхностного натяжения сыворотки плазмы крови, связанными со степенью функциональной активности системы.

Известно, что самки по особенностям физиологических отправлений организма отличаются от самцов, что проявляется в их организме с возрастом (Зайцев, 2016). Сравнительный анализ результатов определённых ДПН крови кобыл и жеребцов позволил выявить ряд существенных особенностей в его становлении (Таблицы 1 и 2).

Для кобыл значения σ_1 снижаются на 2,6 % до 4 лет, затем резко увеличиваются на 6 % (5 лет), а потом снижаются на 3 % с увеличением возраста животных. Для жеребцов отмечаются близкие значения σ_1 в возрасте 2, 4 и 5 лет (74,1–73,7 мН/м) и выше на 3 % значения в возрасте 3, 6 лет и старше (76,0–76,3 мН/м). Значения σ_2 кобыл повышаются на 2 % с возрастом от 2 до 8 лет и несколько снижаются до 73,0 мН/м только для животных старше 10 лет (Таблицы 1 и 2). Значения σ_2 у жеребцов мало изменяются с возрастом и незначительно ниже, чем у кобыл, кроме 3 лет и старше 10 лет, когда значения σ_2 у жеребцов значительно (на 3 %) увеличиваются. Значения σ_3 для кобыл и для жеребцов близки (от 62,2 до 63,3 мН/м у жеребцов и от 61,8 до 62,8 мН/м у кобыл) для всех возрастных групп, более высокие значения получены только для 3 летних животных.

Таблица 1

Средние значения (знач.) ДПН сыворотки крови кобылок и кобыл разного возраста (адаптировано из Зайцев, 2016)

Знач.	1 мес.	2 года	3 года	4 года	5 лет	6 лет	>10 лет
σ_1 , мН/м	71,1 ± 0,6	75,5 ± 1,2	74,5 ± 1,6	73,5 ± 0,5	77,9 ± 1,1	76,5 ± 1,1	75,5 ± 0,5
σ_2 , мН/м	68,7 ± 0,3	72,5 ± 1,3	72,3 ± 1,5	73,3 ± 1,1	73,9 ± 0,9	73,8 ± 1,2	73,0 ± 1,0
σ_3 , мН/м	61,1 ± 0,7	62,8 ± 0,9	65,6 ± 1,3	61,8 ± 0,7	62,7 ± 1,3	63,2 ± 0,7	62,5 ± 1,2
λ_0 , мН · м ⁻¹ с ^{1/2}	9,5 ± 0,2	4,7 ± 0,2	3,6 ± 0,6	1,9 ± 0,4	5,4 ± 0,7	4,7 ± 0,3	4,9 ± 1,1
λ_1 , мН · м ⁻¹ с ^{1/2}	7,8 ± 0,2	9,0 ± 0,4	7,4 ± 0,3	11,9 ± 0,8	12,9 ± 0,4	12,2 ± 0,5	11,7 ± 1,6

Примечание. Параметры σ_0 , σ_1 , σ_2 и σ_3 (мН/м) — величины ДПН при временах 1,0, 10 и 100 сек. Параметры λ_0 и λ_1 (м⁻¹с^{1/2}) — величины, полученные при экстраполяции зависимостей ДПН от времени (тензиограмм) на начальном и конечном участках тензиограмм.

Таблица 2

Средние значения (знач.) ДПН крови жеребцов разного возраста (адаптировано из Зайцев, 2016)

Знач.	2 года	3 года	4 года	5 лет	6 лет	>10 лет
σ_1 , мН/м	74,1 ± 1,2	76,0 ± 1,3	73,9 ± 0,9	73,7 ± 0,7	76,3 ± 1,9	76,1 ± 1,1
σ_2 , мН/м	71,8 ± 1,6	73,5 ± 0,8	70,5 ± 2,1	72,1 ± 1,2	72,9 ± 1,3	74,5 ± 1,1
σ_3 , мН/м	63,1 ± 1,0	66,7 ± 1,5	62,85 ± 2,06	62,2 ± 1,4	62,3 ± 1,5	63,3 ± 1,1
λ_0 , мН · м ⁻¹ с ^{1/2}	5,9 ± 0,2	5,6 ± 0,3	5,3 ± 0,8	4,7 ± 0,5	5,3 ± 0,2	4,5 ± 0,3
λ_1 , мН · м ⁻¹ с ^{1/2}	9,6 ± 1,0	7,6 ± 0,5	8,1 ± 0,7	10,3 ± 0,3	12,3 ± 0,6	12,5 ± 0,1

Примечание. Параметры σ_0 , σ_1 , σ_2 и σ_3 (мН/м) — величины ДПН при временах 1,0, 10 и 100 сек. Параметры λ_0 и λ_1 (м⁻¹с^{1/2}) — величины, полученные при экстраполяции зависимостей ДПН от времени (тензиограмм) на начальном и конечном участках тензиограмм.

Значения λ_0 для кобыл с возрастом снижаются от 4,7 мН · м⁻¹с^{1/2} (2 летние) до 1,9 мН · м⁻¹с^{1/2} (4 летние), потом повышаются до 5,4 мН · м⁻¹с^{1/2} в возрасте 5 лет и дальше изменяются незначительно. Значения λ_0 для жеребцов существенно не изменяются (от 4,5 мН · м⁻¹с^{-1/2} старше 10 лет до 5,9 мН · м⁻¹с^{-1/2} — 2 летние). Значения λ_1 для кобыл более низкие в 2 и 3 года (9,0 и 7,4 мН · м⁻¹с^{1/2} соответственно), для других групп практически одинаковы от 11,9 мН · м⁻¹с^{1/2} до 12,9 мН · м⁻¹с^{1/2}. Значения λ_1 для жеребцов снижаются до 4 лет от 9,6 до 8,1 мН · м⁻¹с^{1/2}, а с 5 лет повышаются на 54 % до 10,3 мН · м⁻¹с^{1/2} и продолжают увеличиваться до 12,5 мН · м⁻¹с^{1/2} в возрастной группе старше 10 лет (Таблицы 1 и 2).

При сравнении показателей ДПН для жеребцов и кобыл одного возраста были получены следующие данные. Для 2 летних животных у кобыл выше значения σ_1 – σ_3 на 2–4 % и ниже значение λ_0 на 25 % и λ_1 на 6 %, значения σ_0 отличаются незначительно. Для 3 летних животных все значения ДПН для кобыл ниже на 5 %, а значения углов наклона на 50 и 2 %. В возрасте 4 лет все значения ДПН ниже для кобыл, наиболее существенно снижаются значения σ_2 и σ_3 на 4 %. Значение λ_0 для кобыл ниже на 60 %, а λ_1 — выше на 30 %. Для 5 летних животных все полученные значения ДПН выше на 3–5 %, значения углов наклона на 25–30 % для кобыл. У 6 летних животных отличаются только значения σ_2 и σ_3 , они на 4 и 5 %

выше и кобыл, а также значения λ_0 , у кобыл они ниже на 15 %. В возрасте старше 10 лет для жеребцов все значения ДПН выше на 3–5 %, чем у кобыл, λ_0 на 2 % выше у кобыл, а λ_1 — на 7 % у жеребцов (Таблицы 1 и 2).

Таким образом, ДПН крови имеет особенности, зависящие от пола животного. Различия в значениях ДПН с возрастом у кобыл и жеребцов связаны с отличием во времени физиологического созревания и начала интенсивного тренинга для достижения призовых результатов, угол наклона λ_0 может служить специфическим показателем, который изменяется в зависимости от пола животного (например, может достоверно отличаться даже при отсутствии отличий в значениях σ_1 – σ_3).

Динамическое поверхностное натяжение сыворотки крови крупного рогатого скота

У крупного рогатого скота параметры ДПН сыворотки крови с возрастом претерпевают существенные изменения (Зайцев, 2016). Наступление половой зрелости и достижение телочками 12 месячного возраста приводит к адаптивным изменениям параметров ДПН, так, σ_1 – σ_3 увеличиваются на 3–5 %, а значения коэффициента наклона кривой в области малых времен существования поверхности (λ_0), напротив, снижаются на 47 % (Таблица 3).

Таблица 3

Средние значения (знач.) ДПН сыворотки крови крупного рогатого скота (адаптировано из Зайцев, 2016)

Знач.	тёлки, 6 мес.	тёлки, 12 мес.	тёлки, 17 мес.	нетели, 5 мес.*	коровы, 2 мес.*	коровы, 6 мес.*
σ_1 , мН/м	71,91 ± 0,43	73,52 ± 0,14	73,08 ± 0,48	72,86 ± 0,23	73,09 ± 0,51	72,45 ± 0,39
σ_2 , мН/м	66,80 ± 0,30	70,11 ± 0,42	69,86 ± 0,76	66,10 ± 0,48	64,24 ± 0,43	65,62 ± 0,37
σ_3 , мН/м	61,19 ± 0,66	64,35 ± 0,64	62,22 ± 0,55	60,45 ± 0,59	56,80 ± 0,59	58,97 ± 0,69
λ_0 , мН · м ⁻¹ с ^{-1/2}	5,96 ± 0,15	3,16 ± 0,39	4,59 ± 0,39	6,07 ± 0,28	5,47 ± 0,36	7,33 ± 0,36
λ_1 , мН · м ⁻¹ с ^{1/2}	6,12 ± 0,23	5,70 ± 0,49	7,34 ± 0,38	6,79 ± 0,29	9,14 ± 0,35	7,98 ± 0,60

Примечание. Параметры σ_0 , σ_1 , σ_2 и σ_3 (мН/м) — величины ДПН при временах 1,0, 10 и 100 сек. Параметры λ_0 и λ_1 (м⁻¹с^{1/2}) — величины, полученные при экстраполяции зависимостей ДПН от времени (тензиограмм) на начальном и конечном участках тензиограмм. * месяц стельности.

К моменту наступления физиологической зрелости (18 мес.) значения σ_3 снижаются на 3 %, а λ_0 и λ_1 повышаются на 48 % и 28 % соответственно. Конечно, различные патологии, например, заражение вирусом бычьего лейкоза изменяет некоторые гематологические и биохимические показатели крови у коров (Sandev et al., 2013), что сказывается и на показателях тензиометрии (Зайцев, 2016).

Наступление беременности сопровождается многочисленными сложными изменениями в организме самок, что создает оптимальные условия для внутриутробного развития плода. Обмен веществ при беременности подвергается особенно значительным изменениям, что связано с перестройкой функций нервной системы и желез внутренней секреции. При беременности ряд содержащихся в крови биологически-активных веществ существенно изменяется по количеству и по активности, это приводит к изменениям значений ДПН сыворотки крови стельных животных. У коров, находящихся на 1–2 месяце стельности, значения параметров σ_2 – σ_3 снижаются на 5 %, λ_1 — на 24 %, а значения λ_0 повышается на 20 % по сравнению с тёлками 17–18 месяцев. Нетели и коровы на 5–6 месяце стельности имеют значения ДПН выше на 3–6 % (σ_2 — на 2,5 %, σ_3 — на 6 и 3,6 % соответственно) и λ_0 (выше на 10 и 25 % соответственно), и более низкие значения λ_1 (соответственно на 35 и 15 % ниже) по сравнению с коровами, находящимися на 1–2 месяце стельности (Таблица 3).

Таким образом, у лошадей и крупного рогатого скота происходит изменение в системе крови в связи с возрастом, полом, физиологическим состоянием, которое отражается в изменении параметров ДПН.

Биохимические показатели сыворотки крови животных

Биохимические исследования получили широкое распространение в XX веке и на сегодняшний день являются наиболее популярным методом лабораторной диагностики общего состояния организма животных (Kaneko et al., 2008; Зайцев, 2016). Они позволяют получать данные об изменении физиолого-биохимического состава крови, недостаток макро- и микроэлементов, выявлять изменение гормонального фона и другое. Химический состав сыворотки крови очень сложен. Из неорганических веществ в сыворотке содержится около 90 % воды и около 1 % соли. Главное место среди солей в крови животных (в том числе — КРС и лошадей) принадлежит хлориду натрия: содержание натрия в сыворотке крови 139,2–148,7 ммоль/л, а хлора — 109–112 ммоль/л. Это в 10–15 раз больше, чем содержание других солей: К (4,3–5,1 ммоль/л), Са (2,4–2,6 ммоль/л) и Mg (1,2–1,4 ммоль/л), находятся в крови в форме хло-

ридов, фосфатов и карбонатов. Концентрации этих солей в сыворотке крови животных разных видов отличается незначительно, а их соотношение поддерживается постоянным.

До 7–8 % всех веществ в плазме крови приходится на белки, которых содержится несколько десятков видов: сывороточный альбумин, различные типы глобулинов, фибриноген и другие. Все белки плазмы делятся на группы, самые большие из них — альбумины и глобулины. Так, показатель «общий белок» в крови КРС 60–86 г/л, включая фракции альбуминов 28–42 г/л и глобулинов 31–44 г/л. Соотношение между ними (белковый коэффициент) является величиной постоянной для данного вида и отличается у животных разных видов. Например, белковый коэффициент для лошадей и крупного рогатого скота — несколько меньше единицы.

Кроме всех веществ, перечисленных выше, в крови находятся гормоны (адреналин, серкетин и др.), ферменты (амилаза, каталаза и др.), иммунные вещества (антитела, лизины, агглютинины, преципитины и др.), витамины, пигменты и др. Содержание ферментов значительно варьируется у животных разного вида. Из углеводов в крови находится, прежде всего, глюкоза (в концентрации от 2 до 6 мМ в зависимости от вида животного). Существенное значение имеют липиды (лецитин, холестерин, триглицериды). Например, у лошадей биохимические показатели сыворотки крови по-разному изменяются в процессе онтогенеза у жеребцов и у кобыл (Максимов и соавт., 2006).

Для кобыл 2–4 лет и старше 10 лет уровень общего белка на 30 % выше, чем в возрасте 5–6 лет, уровень альбуминов у 2 и 4 летних выше на 50 %; уровень триглицеридов у 2 и 6 летних животных выше на 75 и 42 %, уровень холестерина у 2 летних на 80 %, уровень глюкозы у кобыл старше 3 лет выше в 2,5 раза, уровень мочевины выше у 4 и 6 летних на 44 %, уровень кальция ниже у 5 и 6 летних кобыл на 30 %, а уровень калия на 22 %, уровень натрия выше у 2 и 4 летних кобыл на 42 %, уровень хлоридов ниже у 2, 3 летних кобыл на 13 %. В возрасте 3 лет происходит повышение уровня мочевины на 8 %, калия на 5 % и снижение уровня белков на 15–20 %, триглицеридов и холестерина в 3 раза, кальция на 4 %, натрия на 60 %, хлоридов на 40 % по сравнению с двухлетними кобылами. В возрасте 4 лет у кобыл повышается уровень альбуминов на 20 %, глюкозы в 3,5 раза, мочевины на 65 %, калия на 12 %, хлоридов на 18 %, снижается уровень общего белка на 16 %, триглицеридов и холестерина в 1,5 раза, кальция на 26 %, натрия на 8 %. В возрасте 5 лет снижается уровень общего белка в 1,5 раза, альбуминов на 65 %, триглицеридов на 20 %, холестерина в 1,5 раза, кальция на 12 %, калия на 10 %, натрия на 42 %, повышается уровень мочевины на 45 %, глюкозы в 3,5 раза, хлоридов на 18 %. У животных 6 лет и старше наблюдается снижение уровня общего белка и альбуминов на 10–25 %,

триглицеридов на 7–12 %, холестерина на 40–45 %, кальция на 2–15 %, натрия на 30–52 %, повышение уровня глюкозы в 3,5 раза, мочевины на 5–25 %, калия на 15–28 %, хлоридов на 20–25 %.

Таким образом, у более молодых кобыл в крови выше уровень белков (общий белок, альбумины), липидов (триглицериды, холестерин) и минеральных веществ (кальция, калия, натрия), но ниже уровень углеводов (глюкозы), мочевины и хлоридов. Это, по-видимому, связано с процессами интенсивного роста и ускоренными обменными процессами в молодом организме.

Для жеребцов уровень общего белка выше на 6 и 24 %, уровень альбуминов на 30 и 43 % в возрасте 5 и 6 лет соответственно, самые низкие значения 54 и 19 г/л получены для 2 летних животных. Уровень триглицеридов выше на 25 % у жеребцов 2 лет и старше 10 лет, уровень глюкозы выше на 56 %, а уровень мочевины на 20–50 % у жеребцов старше 3 лет, уровень кальция выше на 40–50 % у 2, 5 и 6 летних животных, уровень калия ниже на 30 % в возрасте 6 лет и выше на 40 % в возрасте старше 10 лет, уровень натрия на 30 % выше в возрасте 3 лет и ниже в возрасте 6 лет, уровень хлоридов ниже в возрасте 3 лет на 30 % (по сравнению с двухлетними жеребцами). У трехлетних жеребцов повышается уровень общего белка на 17 %, альбуминов на 8 %, холестерина на 5 %, натрия на 30 %, снижается уровень триглицеридов на 70 %, глюкозы на 16 %, мочевины на 45 %, кальция на 74 %, калия на 4 %, хлоридов на 40 %. У жеребцов 4 лет выше уровень общего белка на 20 %, альбуминов на 11 %, холестерина на 3 %, глюкозы на 76 %, мочевины на 65 %, хлоридов на 15 %, ниже уровень триглицеридов в крови на 7 %, кальция на 28 %, калия на 18 %, натрия на 27 %. Для животных 5 лет выше уровень общего белка на 25 %, альбуминов на 24 %, глюкозы в 1,7 раза, мочевины на 56 %, натрия на 21 %, ниже уровень триглицеридов на 11 %, калия на 8 %, хлоридов на 13 %. В возрасте 6 лет происходит повышение уровня общего белка на 15 %, альбуминов на 20 %, холестерина на 15 %, глюкозы на 80 %, мочевины на 14 %, кальция на 23 %, хлоридов на 18 %, снижение уровня триглицеридов на 8 %, калия на 30 %, натрия на 40 %. В возрастной группе старше 10 лет по сравнению с 2 летними жеребцами происходит повышение уровня общего белка на 30 %, альбуминов на 8 %, триглицеридов на 3 %, холестерина на 2 %, глюкозы на 75 %, мочевины на 26 %, калия на 48 %, хлоридов на 9 %, снижение уровня кальция на 15 %, натрия на 2 %.

Таким образом, у жеребцов, как и у кобыл, наблюдается повышение уровня глюкозы, мочевины и хлоридов в возрасте старше 3 лет и уровня триглицеридов у молодых животных и старше 10 лет. Но у жеребцов максимальный уровень белка в крови отмечается в возрасте 5 и 6 лет, а не у двухлетних животных. Также можно отметить повышение уровня кальция, снижение уровня

калия и натрия в этом возрасте. По-видимому, это связано с максимальной интенсивностью тренинга жеребцов в этом возрасте.

Изменение биохимических показателей крови коров в зависимости от их физиологического состояния

У коров содержание общего белка, альбуминов и глобулинов в крови сильно отличается в зависимости от их физиологического состояния (Воронина и соавт., 2019). Например, в сыворотке крови глубоко стельных коров уровень общего белка выше почти на 15 % по сравнению с нетелями; альбумины, α-глобулины, β-глобулины, γ-глобулины — крови на 8–10 % больше, чем для нетелей (Зайцев, 2016; Милаёва и соавт., 2010). Концентрация глюкозы в сыворотке крови этих коров на 5 % выше по сравнению с нетелями, а вот содержание мочевины в сыворотке крови этих коров выше в 1,5 раза по сравнению с нетелями (Зайцев, 2016; Милаёва и соавт., 2010). Отличаются биохимические показатели сыворотки крови коров и нетелей также по активности ферментов и ряду других показателей: кальций, фосфор, магний, железо, цинк (Зайцев, 2016; Милаёва и соавт., 2010). Сравнивая биохимические показатели, полученные разными авторами, можно отметить существенные различия в содержании органических и неорганических веществ. Так, по содержанию общего белка в сыворотке крови лошадей значения отличаются на 10–15 %, фосфора в сыворотке крови коров — в 3 раза, лошадей — в 1,5 раза и т.д. По данным разных авторов (Зайцев, 2016; Милаёва и соавт., 2010; Kaneko et al., 2008; Zaitsev, 2016; Zaitsev et al., 2020 и другие) содержание холестерина в сыворотке крови коров отличается в 2 раза, содержание натрия на — 20 %, общего билирубина — на 40 %, а отличия по всем другим показателям от 5 до 25 %.

Таким образом, изменение биохимического состава сыворотки крови происходит под воздействием многочисленных как внутренних, так и внешних факторов. Уровень отдельных веществ в сыворотке крови не может отражать все сложные изменения, происходящие в организме в процессе роста, болезни и других состояний, поэтому оценивать ИБС организма можно только с учетом взаимосвязи между отдельными биохимическими показателями и комплексно анализируя происходящие с ними изменения.

Корреляционные взаимодействия между данными ДПН и биохимического анализа

Наряду с биохимическим анализом ведётся поиск методов, позволяющих уловить комплексные изменения, не затрачивая время на определение уровня отдельных

веществ в сыворотке крови (Krishnan et al., 2005). Метод межфазной тензиометрии (или ДПН) — это один из перспективных шагов в данном направлении (Kratochvil & Hrnčíř, 2001). Для выяснения зависимости ДПН крови от количественного и качественного состава её у лошадей в разные сроки постнатального онтогенеза и пола животных был проведён корреляционный анализ между показателями межфазной тензиометрии и данными биохимического анализа крови для разных групп животных (Зарудная и соавт., 2011; Милаёва и соавт., 2006; Царькова и соавт., 2017). На значения ДПН при коротких временах (σ_1) наибольшее влияние оказывают мочевины, катионы (кальций, калий) и холестерол (прямые корреляционные связи); а также белки (альбумины, общий белок) и натрий (обратные корреляционные связи). При средних временах (σ_2) наблюдаются прямые корреляционные связи с уровнем катионов (калия и натрия); обратные корреляционные связи — с уровнем липидов (триглицеридов, холестерина) и хлоридов. При большом времени (σ_3) основное влияние на ДПН оказывают общий белок и альбумины (обратные корреляционные связи); при увеличении концентрации калия — обратные корреляционные связи. Значения λ_0 имеют обратные корреляционные связи с концентрациями большинства исследованных компонентов сыворотки крови (кроме белков и натрия, повышение концентрации которых приводит к прямой корреляционной связи с значениями λ_1). Если подводить общие итоги этого раздела для жеребцов и кобыл вместе, то имеющиеся корреляционные связи между ДПН и биохимическим составом крови очень сильно отличаются по силе и типу для большинства корреляционных зависимостей. Но есть некоторые общие закономерности: для жеребцов и для кобыл белки имеют обратные корреляционные связи с σ_1 , мочевины — прямую с σ_1 , λ_0 , липиды — обратную с величиной σ_2 . Как общие корреляционные закономерности, так и детально описанные особенности для животных определенного возраста и пола имеют важное значение в физико-химической биологии и ветеринарно-зоотехнических науках.

Для науки и практики животноводства важным является изучение биохимических параметров сыворотки крови в различные сроки постнатального онтогенеза у крупного рогатого скота. Для телок в возрасте 6 мес. отмечается прямая корреляционная связь значений σ_1 с уровнем белков, липидов, глюкозы, кальция, натрия и обратная — с уровнем мочевины, калия и хлоридов. Значения σ_2 имеют прямые корреляционные связи с уровнем альбуминов, липидов, глюкозы и натрия; а также обратные — с уровнем общего белка, мочевины и хлоридов. Значения σ_3 имеют прямые корреляционные связи с уровнем мочевины, калия или хлоридов; а также обратные — с уровнем альбуминов, липидов, глюкозы, кальция и натрия. Значения λ_0 имеют прямые корреляционные связи со всеми биохимическими по-

казателями, кроме уровня мочевины, калия и хлоридов (с ними обратные корреляционные связи). Значения λ_1 имеют прямые корреляционные связи с уровнем общего белка, липидов, глюкозы, кальция, натрия; а также обратные — с уровнем мочевины, калия и хлоридов.

Для животных в возрасте одного года наблюдаются прямые корреляционные связи для σ_1 ... σ_2 с уровнем альбуминов, катионов, хлоридов; а также обратные — с уровнем общего белка, холестерина, мочевины, глюкозы. Значения σ_3 имеют прямые корреляционные связи с уровнем триглицеридов, глюкозы, калия, натрия; а также обратные — с уровнем альбуминов, холестерина, мочевины, хлоридов. Значения λ_0 имеют прямые корреляционные связи с уровнем альбуминов, катионов, хлоридов; а также обратные — с уровнем общего белка, холестерина, мочевины, глюкозы. Значения λ_1 имеют прямые корреляционные связи с уровнем белков, холестерина, мочевины, хлоридов; а также обратные — с уровнем триглицеридов, катионов.

Для телок в возрасте 1–2 лет между биохимическими и ДПН параметрами сыворотки крови в большей степени отмечаются средние корреляционные связи, причем число их меньше по сравнению с таковыми для более молодых животных. Значения σ_1 имеют обратные корреляционные связи с уровнем общего белка, общего холестерина, триглицеридов, глюкозы и хлоридов; а также прямые — с уровнем калия, кальция и натрия. Значения σ_2 имеют обратные корреляционные связи с уровнем общего белка, альбумина, холестерина, триглицеридов, глюкозы; а также прямые — с уровнем мочевины, калия, кальция и фосфора. Значения σ_3 имеют обратные корреляционные связи с уровнем общего белка, холестерина, глюкозы и хлоридов; а также прямые — с уровнем мочевины и калия. Значения λ_0 имеют обратные корреляционные связи только с уровнем калия; а также прямые — только с уровнем общего белка. Значения λ_1 имеют обратные корреляционные связи только с уровнем калия; а также прямые — с уровнем общего белка, холестерина, триглицеридов и хлоридов.

Для нетелей значения σ_1 имеют прямые корреляционные связи с уровнем натрия и неорганического фосфора; а также обратные — с уровнем общего белка, общего холестерина и хлоридов. Значения σ_3 имеют обратные корреляционные связи с уровнем белка, липидов и хлоридов; а также прямые — с уровнем мочевины, кальция и фосфора. Значения λ_0 имеют прямую корреляционную связь с уровнем общего белка, альбуминов, холестерина; а также обратные — с уровнем мочевины, общего кальция, фосфора и натрия. Значения λ_1 имеют прямые корреляционные связи с уровнем альбуминов, триглицеридов, глюкозы и хлоридов в сыворотке крови нетелей; а также обратные — с уровнем общего кальция и неорганического фосфора.

У лактирующих коров значения σ_1 имеют обратные корреляционные связи с уровнем альбуминов, липидов, глюкозы и хлоридов; а также прямые — с уровнем кальция, фосфора и калия. Значения параметров σ_2 имеют обратные зависимости с содержанием в сыворотке крови лактирующих коров общего белка, альбуминов, липидов, глюкозы и хлоридов; а также прямые — с уровнем мочевины и кальция. Значения параметров σ_3 имеют обратные зависимости с содержанием в сыворотке крови лактирующих коров общего белка, альбуминов, липидов и хлоридов; а также прямые — с уровнем мочевины, кальция и калия. На значения λ_0 наибольшее влияние оказывают уровень мочевины, кальция, фосфора и калия (обратные корреляционные связи). Значения λ_1 имеют прямые корреляционные связи с уровнем белка, липидов и хлоридов; а также обратные — с уровнем мочевины и общего кальция

По нашему мнению, влияние липидов на ДПН у коров в большей степени обусловлено содержанием холестерина, тогда как у кобыл — триглицеридов. В целом у обоих видов животных липиды имеют отрицательную корреляцию с большинством показателей ДПН. Среди катионов у кобыл наибольшее влияние на значения ДПН оказывает концентрация калия и натрия, а у коров — кальция. У коров и кобыл катионы имеют однотипные положительные корреляции с ДПН при средних и больших временах, а на значения углов наклона — влияют по-разному. Уровень мочевины у обоих видов животных имеет сильную положительную корреляцию с ДПН при коротких временах и с углом наклона λ_0 . Уровень глюкозы у кобыл и коров имеет сильную отрицательную корреляцию со значениями ДПН и углами наклона, у коров корреляционная связь отмечается только при коротких временах. Изменение содержания хлоридов в крови

у коров и кобыл имеет прямую корреляционную связь со значениями ДПН при коротких временах и углами наклона тензиограмм. У коров отмечается также сильная обратная корреляционная связь этого показателя с σ_3 .

По нашему мнению, для крупного рогатого скота (обоих полов) отмечается прямая корреляционная связь σ_1 с уровнем мочевины, хлоридов, альбуминов; обратная — с уровнем кальция, холестерина, общего белка (только с σ_1), σ_3 с уровнем глюкозы, кальция, холестерина и обратная — с уровнем мочевины, хлоридов, альбуминов. Значения λ_0 имеют прямую корреляционную связь с уровнем белков, мочевины, хлоридов, холестерина и обратную — с уровнем триглицеридов, глюкозы и катионов (калия, натрия).

Динамическое поверхностное натяжение сыворотки крови людей

Уникальные работы по изучению ДПН крови и мочи для здоровых (Казаков и соавт., 1996) и больных (Kazakov et al., 2000; Потапов и соавт., 2021) людей разного пола и разных возрастных групп проведена в совместных работах сотрудников Донецкого государственного медицинского университета, МПИ коллоидов и поверхностей, Потсдамского и Берлинского университетов (Kazakov et al., 2000).

Ряд показателей ДПН представлены в Таблице 4.

У обследованных здоровых людей показатели ДПН крови при времени 0,01 с (σ_0) обнаруживают прямую сильную корреляцию с уровнем в крови глобулинов, фибриногена, глюкозы, калия, натрия, кальция; (при

Таблица 4

Параметры ДПН сыворотки крови у здоровых людей* в зависимости от возраста, по данным работы (Казаков, 2000)

Возраст (годы)	Показатели межфазной тензиометрии			
	σ_0 , мН/м	σ_1 , мН/м	σ_3 , мН/м	λ , мН · м ⁻¹ с ^{1/2}
До 1	74,2 ± 0,4	69,2 ± 0,5	60,1 ± 1,2	13,7 ± 1,6
1–5	74,1 ± 0,3	68,8 ± 0,4	58,9 ± 0,9	13,2 ± 1,2
6–10	73,5 ± 0,3	68,7 ± 0,4	59,7 ± 0,9	12,3 ± 1,2
11–15	74,3 ± 0,3	69,2 ± 0,7	61,2 ± 1,2	11,61 ± 1,04
16–20	66,9 ± 0,6	66,5 ± 0,5	58,8 ± 0,4	15,0 ± 0,9
21–30	70,3 ± 0,8	67,5 ± 0,6	59,2 ± 0,3	13,72 ± 1,09
31–40	70,8 ± 0,6	68,0 ± 0,6	61,1 ± 1,2	10,5 ± 0,7
41–50	71,1 ± 0,7	68,2 ± 0,7	61,2 ± 1,4	10,2 ± 0,8
51–60	71,54 ± 1,09	68,5 ± 0,9	61,4 ± 1,6	10,0 ± 0,9
Старше 60	71,9 ± 0,9	69,0 ± 0,8	61,7 ± 1,2	9,1 ± 0,8

* Авторы работы (Казаков, 2000) не приводят число обследованных людей.

временах 1 с) σ_1 с содержанием глюкозы и электролитов; (при 100 с) σ_3 – с концентрацией белка, глобулинов, ЛПВП и общего кальция (Казаков, 2000). ДПН сыворотки (при 0,01 с) σ_0 обратно коррелирует с показателями глобулинов, при 1 с (σ_1) – с уровнем глобулинов, хлора, триглицеридов, общего холестерина, ЛПНП и ЛПОНП, а при 100 с (σ_3) – с содержанием триглицеридов, холестерина, фосфолипидов, ЛПНП, мочевины и хлора. Следовательно, глобулины, фибриноген оказывают влияние на ДПН при коротких временах, ЛПОНП в зоне средних времен; общий белок, фосфолипиды, ЛПВП и мочевины – при больших временах «существования» поверхности (ВСП). Примечательно, что уровень кальция влияет на показатели динамического поверхностного натяжения при всех ВСП (Казаков, 2000).

Обнаружены небольшие, но достоверные различия в значениях ДПН крови и мочи у людей разного пола. ДПН (σ_3) в области больших времен у женщин больше, а угол наклона тензиограмм меньше, чем у мужчин (Таблица 5).

Эти изменения связаны с разным содержанием некоторых белковых, липидных и углеводных компонентов плазмы крови у мужчин и женщин (Казаков, 2000). Угол наклона тензиограммы для крови с возрастом постоянно уменьшается. Это, предположительно, связано со структурными изменениями, происходящими в крови в процессе развития организма

Необходимо отметить, что в сыворотке крови ионы калия, натрия, кальция, хлора выступают как поверхностно неактивные вещества. Возрастное снижение содержания калия у представителей старших возрастных групп оказывает влияние на увеличение ДПН крови в области 0,01 с (σ_0) (Казаков, 2000).

Несколько неожиданными оказались результаты исследования, касающиеся сывороточного альбумина, который, как известно, относится к достаточно мощным

природным ПАВ. Сколько-нибудь существенного влияния степени альбуминемии на параметры межфазных тензиограмм крови здоровых людей выявлено не было.

Содержание глюкозы в крови влияет на значения σ_0 и σ_1 для этой биологической жидкости (положительная корреляционная связь), а мочевины – на σ_3 (отрицательная зависимость). Как известно, добавки *in vitro* углеводов понижают, а мочевины повышают поверхностное натяжение растворов как в области коротких, так и длинных времен «жизни» поверхности. Влияние указанных веществ на динамическую межфазную тензиометрию растворов протеинов не ограничивается изменением структуры растворителя. Присутствие мочевины приводят к денатурации альбумина в объеме и поверхностном слое, вследствие чего межфазная активность раствора существенно снижается.

Дисбаланс состава белков и жиров крови способен даже у здоровых людей вызывать дополнительное образование факторов гемокоагуляции, что, в свою очередь, может воздействовать на показатели межфазной тензиометрии. Так, свободный холестерин при сдвигах в липидном обмене встраивается в мембрану эритроцитов и изменяет соотношение «холестерин/фосфолипиды» с выходом из клеток в сыворотку крови поверхностно-активного фосфатидилхолина. Это существенно влияет на показатели ДПН крови людей.

Процессы, протекающие при взаимодействии различных продуктов метаболизма с протеинами, проявляются в изменениях молекулярной структуры белков, определяя тем самым появление у них новых физико-химических их свойств, изменяя вязкость и поверхностное натяжение крови.

Приведенный анализ результатов исследования ДПН крови людей разного возраста и пола представляет не только научно-теоретический интерес, но также имеет большое практическое значение для ранней диагно-

Таблица 5

Параметры ДПН сыворотки крови у здоровых людей* в зависимости от пола, по данным работы (Казаков, 2000)

Группы обследованных	Показатели межфазной тензиометрии			
	σ_0 , мН/м	σ_1 , мН/м	σ_3 , мН/м	λ , мН · м ⁻¹ с ^{1/2}
Дети	74,05±0,16	68,9±0,3	59,8±0,5	12,7±0,6
– мальчики	74,02±0,19	69,0±0,2	59,8±0,6	12,8±0,7
– девочки	74,0±0,3	68,8±0,7	59,72±1,06	12,6±0,9
Взрослые	70,1±0,3	67,7±0,3	60,1±0,3	12,6±0,4
– мужчины	69,3±0,4	67,2±0,2	59,46±0,12	15,2±0,5
– женщины	70,8±0,4	68,3±0,4	61,2±0,5	8,3±0,4

* Авторы работы (Казаков, 2000) не приводят число обследованных людей.

стики патологических процессов и контроля за проведением лечебных мероприятий. Параметры межфазной тензиометрии крови полезны при необходимости интегральной оценки белкового, липидного и электролитного обменов у практически здоровых людей, скажем, работающих в экстремальных условиях, у женщин во время беременности и т.д. (Казаков, 2000).

В ряде недавних работах (Потапов и соавт., 2021; Хомутов и соавт., 2022), были исследованы ДПН образцов крови двух групп пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) в сравнении с условно здоровыми добровольцами (К) того же возраста и пола. Авторами (Потапов и соавт., 2021; Хомутов и соавт., 2022) предложена математическая модель, из которой следует, что: характеристики ДПН сыворотки крови групп ИБС и К существенно отличаются; оценен вклад низкомолекулярных метаболитов в формирование поверхностного натяжения плазмы и сыворотки крови; велик вклад системы свертывания крови в ДПН крови в исследуемых группах; установлена связь между величиной концентрации низкомолекулярных метаболитов и значением ДПН плазмы и сыворотки при ИБС людей (Потапов и соавт., 2021; Хомутов и соавт., 2022).

ЛИТЕРАТУРА

- Барсуков, Л. И. (1998). Липиды. *Соросовский образовательный журнал*, 10, 2–10.
- Воронина, О. А., Ильина, Л. А., & Зайцев, С. Ю. (2019). Ферментативная активность сыворотки крови коров на поздних периодах лактации и ее взаимосвязь с поверхностным натяжением крови. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*, (2), 28–33.
- Воронина, О. А., Сапего, Н. Ю., & Зайцев, С. Ю. (2018). Взаимосвязь активности ряда ферментов и поверхностного натяжения сыворотки крови лактирующих коров. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*, (6), 39–44.
- Зайцев, С. Ю. (2017). *Биологическая химия: от биологически активных веществ до органов и тканей животных*. Капитал Принт.
- Зайцев, С. Ю. (2016). *Тензиометрический и биохимический анализ крови животных: фундаментальные и прикладные аспекты*. Издательство Сельскохозяйственные технологии.
- Зайцев, С. Ю., Довженко, Н. А., Милаева, И. В., Зарудная, Е. Н., & Царькова, М. С. (2015). Методические основы применения межфазной тензиометрии для исследования биологических жидкостей. *Проблемы биологии продуктивных животных*, (2), 97–105.
- Зайцев, С. Ю. (2010). *Супрамолекулярные наноразмерные системы на границе раздела фаз. Концепции и перспективы для бионанотехнологий*. Ленанд.
- Зайцев, С. Ю., Максимов, В. И., Милаева, И. В., & Миллер, Р. (2007). Исследование поверхностного натяжения модельных систем и крови животных методом межфазной тензиометрии. *Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные*, (2), 44–46.
- Зайцев, С. Ю. (2006). *Супрамолекулярные системы на границе раздела фаз как модели биомембран и наноматериалы*. Норд-компьютер.
- Зарудная, Е. В., Максимов, В. И., Зайцев, С. Ю., & Довженко, Н. А. (2010). Исследование поверхностного натяжения сыворотки крови животных с помощью модельных систем. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им И.Э. Баумана*, 203, 96–100.
- Зарудная, Е. В., Максимов, В. И., & Зайцев, С. Ю. (2011). Возможности метода межфазной тензиометрии для зоотехнии. *Зоотехния*, (6), 21–22.
- Казаков, В. Н., Миллер, Р., & Синяченко, О. В. (1997). Динамическая межфазная тензиометрия — новый метод изучения биологических жидкостей человека. *Вестник новых медицинских технологий*, 4(4), 100–103.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, ДПН отражает количественные и качественные изменения состава крови у людей и животных определенного пола и возраста (чем уже интервал по возрасту в группах, тем выше значения для корреляционных связей между биохимическими показателями и ДПН крови). В целом, как для людей, так и для животных наблюдается большое количество сильных корреляционных связей, что дает возможность практического использования полученных фундаментальных результатов.

ВКЛАД АВТОРОВ

Зайцев С. Ю.: концептуализация, разработка методологии исследования, научное руководство исследованием, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Зайцев И. С.: валидация данных, написание — подготовка черновика рукописи, курирование данных, работа с программным обеспечением.

- Казаков, В. Н., Синяченко, О. В., & Файнерман, В. Б. (1996). Динамическое поверхностное натяжение биологических жидкостей здоровых людей. *Архив клинической экспериментальной медицины*, 5(1), 3–6.
- Казаков, В. Н., Синяченко, О. В., & Игнатенко, Г. А. (2003). Межфазная тензиометрия биологических жидкостей в терапии. *Донецчина*.
- Казаков, В. Н., Синяченко, О. В., & Постовая, М. В. (1998). Межфазная тензиометрия биологических жидкостей: Вопросы теории, методы и перспективы использования в медицине. *Архив клинической экспериментальной медицины*, 7(1), 5–12.
- Казаков, В. Н. (2000). *Межфазная тензиометрия и реометрия биологических жидкостей в терапевтической практике*. Мед. Университет.
- Казаков, В. Н., Возианов, А. Ф., & Синяченко, О. В. (1999). Факторы, влияющие на динамические межфазные тензиограммы крови и мочи у здоровых людей. *Архив клинической экспериментальной медицины*, 8(8), 19–24.
- Крылов, А. Б. (2008) *Поверхностное натяжение и связанные с ним явления*. БГМУ.
- Лысов, В. Ф., & Максимов, В. И. (2004). *Основы физиологии и этологии животных*. КолосС.
- Максимов, В. И., Зайцев, С. Ю., Милаёва, И. В., Козлов, С. А., & Миллер, Р. (2006). Особенности некоторых физиологических показателей сыворотки крови лошадей в связи с полом и возрастом. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины*, 185, 208–213.
- Милаёва, И. В., Максимов, В. И., Зайцев, С. Ю., & Довженко, Н. А. (2010). Особенности физиолого-биохимических показателей сыворотки крови крупного рогатого скота в связи с возрастом. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины*, 201, 263–266.
- Милаёва, И. В., Зайцев, С. Ю., Максимов, В. И., Козлов, С. А., & Миллер, Р. (2006). Исследование поверхностного натяжения сыворотки крови лошадей. *Российский ветеринарный журнал. Сельскохозяйственные животные*, (3), 26–27.
- Потапов, В. В., Моисеева, И. Я., Зенин, О. К., Макиевский, А., & Зайцев, С. Ю. (2021). Связь приобретенной клапанной патологии сердца людей с изменением величин физико-химических показателей сыворотки крови. *Известия высших учебных заведений. поволжский регион*, 60(4), 152–160.
- Русанов, А. И., & Прохоров, В. А. (1994) Межфазная тензиометрия. Химия.
- Фадеев, А. С., Ямпольская, Г. П., Левачёв, С. М., & Зайцев, С. Ю. (2008). Денатурация монослоёв коллагена на границе раздела вода-воздух: моделирование процесса. *Биологические мембраны*, 25(2), 142–154.
- Хазипов, Н. З., Аскарлова, А. Н., & Тюрикова, Р. П. (2010) *Биохимия животных с основами физколлоидной химии*. КолосС.
- Хомутов, Е. В., Дмитриев, Л. С., Потапов, В. В., Зенин, О. К., & Зайцев, С. Ю. (2022). Адсорбционные характеристики низкомолекулярных компонентов крови больных с сердечной недостаточностью. *Известия Саратовского университета. Новая серия (Серия Физика)*, 22, 244–253.
- Царькова, М. С., Милаева, И. В., & Зайцев, С. Ю. (2017). Коллоидно-химическая регрессионная модель в анализе связи динамического поверхностного натяжения с содержанием общего белка и альбуминов в крови. *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*, 58(5), 267–271.
- Butler, C. M., & Foty, R. A. (2011). Measurement of aggregate cohesion by tissue surface tensiometry. *Journal of Visualized Experiments*, 50, 27–39. <https://doi.org/10.3791/2739>
- Campbell, M. K., & Farrell, Sh. O. (2010). *Biochemistry*. (7 th ed.). Nelson Education Ltd.
- Chen, P., Kwok, D. Y., & Prokop, R. M. (1998). Axisymmetric drop shape analysis (ADSA) and its application. In D. Mobius & R. Miller (Eds.) *Drops and Bubbles in Interfacial Science. Studies in Interface Science*. V. 6, (pp. 61–138). Elsevier.
- Chen, P., Prokop, R. M., & Susnar, S. S. (1998). Interfacial tensions of protein solutions using axisymmetric drop shape analysis. In D. Mobius & R. Miller (Eds.) *Proteins at Liquid Interfaces. Studies in Interface Science*. V. 7 (pp. 303–339). Elsevier.
- Clark, D. C., Husband, F., & Wilde, P. J. (1995). Evidence of extraneous surfactant adsorption altering adsorbed layer properties of β -lactoglobulin. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 91(13), 1991–1996.
- Dan, A., Gochev, G., & Miller, R. (2015). Tensiometry and dilational rheology of mixed β -lactoglobulin/ionic surfactant adsorption layers at water/air and water/hexane interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 449, 383–391. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.01.035>
- De Brito, A. K., Nordin, C. S., & Caseli, L. (2015). Algal polysaccharides as matrices for the immobilization of urease in lipid ultrathin films studied with tensiometry and vibrational spectroscopy: Physical-chemical properties and implications in the enzyme activity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 135, 639–645. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.08.033>
- Derde, M., Nau, F., & Lechevalier, V. (2015). Native lysozyme and dry-heated lysozyme interactions with membrane lipid monolayers: lateral reorganization of LPS monolayer, model of the Escherichia coli outer membrane. *Biochimica*

- ca et *Biophysica Acta. Part A*, 1848(1), 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2014.10.026>Get rights and content
- Dixit, N., Zeng, D. L., & Kalonia, D. S. (2012). Application of maximum bubble pressure surface tensiometer to study protein-surfactant interactions. *International Journal of Pharmaceutics*, 439(1–2), 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.09.013>
- Douillard, R., Daoud, M., & Lefebvre, J. (1994). State Equation of β -casein at the air/water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 163, 277–288.
- Fainerman, V. B., Miller, R., & Makievski, A. V. (2004). Accurate analysis of the bubble formation process in maximum bubble pressure tensiometry. *Review of Scientific Instruments*, 75, 213–221.
- Fainerman, V. B., Mys, V. D., Makievski, A. V., & Miller, R. (2006). Application of the maximum bubble pressure technique for dynamic surface tension studies of surfactant solutions using the Sugden two-capillary method. *Journal of colloid and interface science*, 304(1), 222–225. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.08.023>
- Fainerman, S. A., Zholob, M., Leser, K., & Miller, R. (2004). Competitive adsorption from mixed nonionic surfactant/protein solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 274, 496–501. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.12.057>
- Fainerman, V. B., Mys, V. D., Makievski, A. V., & Miller, R. (2004). Correction for the aerodynamic resistance and viscosity in maximum bubble pressure tensiometry. *Langmuir*, 20, 1721–1723.
- Fainerman, V. B., Kazakov, V. N., Lylyk, S. V., & Makievski, A. V. (2004). Dynamic surface tension measurements of surfactant solutions using the maximum bubble pressure method – limits of applicability. *Colloids & Surfaces A*, 250, 97–102. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.01.041>
- Fainerman, V. B., Mys, V. D., Makievski, A. V., & Miller, R. (2006). Dynamic surface tension of micellar solutions in the millisecond and submillisecond time range. *Journal of Colloid and Interface Science*, 302, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.06.029>
- Fainerman, V. B., & Miller, R. (1995). Dynamic surface tension of surfactant mixture at the water-air interface. *Colloids and Surfaces A*, 97, 65–82.
- Fainerman, V. B., & Miller, R. (2004). Maximum bubble pressure tensiometry--an analysis of experimental constraints. *Advances in colloid and interface science*, 108–109, 287–301. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2003.10.010>
- Fathi-Azarbayjani, A., & Jouyban, A. (2015). Surface tension in human pathophysiology and its application as a medical diagnostic tool. *BioImpacts*, 5(1), 29–44. <https://doi.org/10.15171/bi.2015.06>
- Ferri, J. K., Lin, S. Y., & Stebe, K. J. (2001). Curvature effects in the analysis of pendant bubble data: Comparison of numerical solutions, asymptotic arguments, and data. *Journal of Colloid and Interface Science*, 241, 154–168. <https://doi.org/10.1006/jcis.2001.7737>
- Garrett, R. H., & Grisham, Ch. M. (2005). *Biochemistry*. Thomson Learning.
- Generalova, A. N., Marchenko, S. B., Gorokhova, I. V., Miller, R., Gurevich, I. V., Tsarkova, M. S., Maksimov, V. I., & Zaitsev, S. Yu. (2007). Advantages of interfacial tensiometry for studying the interactions of biologically active compounds. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 298, 88–93.
- Grigoriev, D. O., Fainerman, V. B., & Makievski, A. V. (1996). β -casein bilayer adsorption at the solution/air interface: Experimental evidences and theoretical description. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 114, 245–254.
- Hansen, F. K., & Myrvold, R. (1995). The kinetics of albumin adsorption to the air/water interface measured by automatic axisymmetric drop shape analysis. *Journal of Colloid and Interface Science*, 176, 408–417.
- Hrncir, E., & Rosina, J. (1997). Surface tension of blood. *Physiological Research*, 46(4), 319–321.
- Kaneko, J. J., Harvey, J. W., & Bruss, M. L. (2008). *Clinical biochemistry of domestic animals*. Elsevier.
- Kazakov, V. N., Vozianov, A. F., Sinyachenko, O. V., Trukhin, D. V., Kovalchuk, V. I., & Pison, U. (2000). Studies on the application of dynamic surface tensiometry of serum and cerebrospinal liquid for diagnostics and monitoring of treatment in patients who have rheumatic, neurological or oncological diseases. *Advances in Colloid and Interface Science*, 86(1–2), 1–38.
- Kazakov, V. N., Sinyachenko, O. V., Fainerman, V.B., Pison, U., & Miller, R. (2000). Dynamic surface tension of biological liquids in medicine. In D. Möbius & R. Miller, (Eds.), *Studies in Interface Science v.8* (pp.34–56), Elsevier.
- Kratochvil, A., & Hrncir, E. (2001). Correlation between the blood surface tension and the activity of some enzymes. *Physiological Research*, 50(4), 433–437.
- Krishnan, A., Wilson, A., Sturgeon, J., Siedlecki, C. A., & Vogler, E. A. (2005). Liquid-vapor interfacial tension of blood plasma, serum and purified protein constituents thereof. *Biomaterials*, 26(17), 3445–3453.
- Makievski, A. V., Miller, R., & Fainerman, V. B. (1999). Adsorption of Proteins at the Liquid/Air and Liquid/Oil Interfaces as Studied by the Pendant Drop Method. *Food Emulsions and Foams*, 1, 269–284.
- Makievski, A. V., Miller, R., & Fainerman, V. B. (1997). Determination of equilibrium surface tension value by extrapolation via long time approximation. *Colloids and Surfaces A*, 122, 269–273.

- Mikaelyan, M. S. (2014). Influence of EMI EHF on plasma surface tension of rat blood. *Proceedings of the Yerevan State University, Chemistry and Biology*, 48(3), 24–28. <https://doi.org/10.46991/PYSU:B/2014.48.3.024>
- Miller, R., Grigoriev, D. O., & Kragel, J. (2005). Experimental studies on the desorption of adsorbed proteins from liquid interfaces. *Food Hydrocolloids*, 19, 479–483.
- Miller, R., Policova, Z., & Sedev, R. (1993). Relaxation behavior of human albumin adsorbed at the solution/air interface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 76, 179–185.
- Miller, R., Aksenenko, V. B., Fainerman, V. B., & Pison, U. (2001). Kinetics of adsorption of globular proteins at liquid/fluid interfaces. *Colloids Surfaces A*, 183, 381–390.
- Möbius, D., & Miller, R. (2001). Novel Methods to Study Interfacial Layers. In D. Möbius & R. Miller, (Eds.), *Studies in Interface Science* v.11 (pp.234–268). Elsevier.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2005). *Lehninger principles of biochemistry*. 4 ed. W.H. Freeman and Company.
- Nikolov, A. D., & Wasan, D. T. (2004). A novel method to study particle–air/liquid surface interactions. *Colloids and Surfaces A*, 250, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.05.027>
- Niño, M. R. R., & Patino, J. M. R. (1998). Surface tension of bovine serum albumin and tween-20 at the air–aqueous interface. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 75(10), 1241–1248.
- Noskov, B. A., & Loglio, G. (1998). Dynamic surface elasticity of surfactant solutions. *Colloids and Surfaces A*, 143, 167–183. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(98\)00263-5](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(98)00263-5)
- Noskov, B. A. (2002). Kinetics of adsorption from micellar solutions. *Advances in colloid and interface science*, 95(2–3), 237–293. [https://doi.org/10.1016/s0001-8686\(00\)00085-3](https://doi.org/10.1016/s0001-8686(00)00085-3)
- Paulsson, M., & Dejmek, P. (1992). Surface film pressure of β -Lactoglobulin, α -Lactalbumin and BSA at the air/water interface studied by Wilhelmy plate and drop volume. *Journal of Colloid and Interface Science*, 150, 394–403. [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(92\)90209-5](https://doi.org/10.1016/0021-9797(92)90209-5)
- Pitois O., Fritz C., & Vignes-Adler, M. (2005). Liquid drainage through aqueous foam: study of the flow on the bubble scale. *Journal of Colloid and Interface Science*, 282, 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.187>
- Robertson, B., Van Golde, L. M. G., & Batenburg, J. J. (1992). *Pulmonary surfactant: From molecular biology to clinical practice*. Elsevier.
- Robertson, B., & Thusch, H. W. (1995). *Surfactant therapy for lung disease*. Marcel Dekker Inc.
- Rosina, J., Kvasnák, E., Suta, D., Kolárová, H., Málek, J., & Krajci, L. (2007). Temperature dependence of blood surface tension. *Physiological research*, 56, 93–98. <https://doi.org/10.33549/physiolres.931306>
- Sandev, N., Zapryanova, D., Stoycheva, I., Rusenova, N., & Mircheva, T. (2013). Investigation of some haematological and blood biochemical parameters in cattle spontaneously infected with bovine leukosis virus. *Macedonian Veterinary Review*, 36(2), 107–110.
- Serrien, G., Geeraerts, G., & Ghosh, L. (1992). Dynamic surface properties of adsorbed protein solutions: BSA, casein and buttermilk. *Colloids and Surfaces*, 68, 219–233. [https://doi.org/10.1016/0166-6622\(92\)80208-J](https://doi.org/10.1016/0166-6622(92)80208-J)
- Zaitsev, S. Yu. (2015). Application of the correlations between the interfacial tensiometry and biochemical parameters of the animal blood for comprehensive diagnostics. *FEBS journal*, 282, 192.
- Zaitsev, S. Yu., Maximov, V. I., Milaeva, I. V., Zarudnaya, E. N., & Miller R. (2011). Dynamic Tensiometry as Express-Method for Horse Blood. *International Journal of Medical and Biological Frontiers*, 17(4–5), 377–384.
- Zaitsev, S. Yu., Milaeva, I. V., Zarudnaya, E. N., & Maximov, V. I. (2011). Investigation of dynamic surface tension of biological liquids for animal blood diagnostics. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 383, 109–113.
- Zaitsev, S. Yu. (2016). Dynamic surface tension measurements as general approach to the analysis of animal blood plasma and serum. *Advances in Colloid and Interface Science*, 235, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.06.007>
- Zaitsev, S. Y., Bogolyubova, N. V., Zhang, X., & Brenig, B. (2020). Biochemical parameters, dynamic tensiometry and circulating nucleic acids for cattle blood analysis: a review. *PeerJ*, 8, e8997. <https://doi.org/10.7717/peerj.8997>
- Zaitsev, S. Y., & Solovyeva, D. O. (2015). Supramolecular nanostructures based on bacterial reaction center proteins and quantum dots. *Advances in Colloid and Interface Science*, 218, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.01.006>
- Zaitsev, S. Yu., Solovyeva, D. O., & Zaitsev, I. S. (2015) Multifunctional membranes based on photosensitive crown-ether derivatives with advanced properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 222, 755–764. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.09.007>

REFERENCES

- Barsukov, L. I. (1998). Lipids. *Sorosovskij Obrazovatel'nyj Zhurnal* [Soros Educational Journal], 10, 2–10.
- Voronina, O. A., Ilyina, L. A., & Zaitsev, S. Yu. (2019). Enzymatic activity of blood serum of cows in late periods of lactation and its relationship with the surface tension of the blood. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya* [Veterinary Science, Animal Science and Biotechnology], (2), 28–33.
- Voronina, O. A., Sapego, N. Yu., & Zaitsev, S. Yu. (2018). Relationship between the activity of a number of enzymes and the surface tension of the blood serum of lactating cows. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya* [Veterinary Science, Animal Science and Biotechnology], (6), 39–44.
- Zaitsev, S. Yu. (2017). *Biologicheskaya himiya: ot biologicheskii aktivnykh veshchestv do organov i tkanej zhivotnykh* [Biological chemistry: from biologically active substances to animal organs and tissues]. Kapital Print
- Zaitsev, S. Yu. (2016). *Tenziometricheskii i biohimicheskii analiz krovi zhivotnykh: fundamental'nye i prikladnye aspekty* [Tensiometric and biochemical analysis of animal blood: fundamental and applied aspects]. Izdatel'stvo Sel'skhozayajstvennyye tekhnologii.
- Zaitsev, S. Yu., Dovzhenko, N. A., Milayeva, I. V., Zarudnaya, E. N., & Tsarkova, M. S. (2015). Methodological bases for the use of interfacial tensiometry for the study of biological fluids. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* [Problems of Biology of Productive Animals], (2), 97–105.
- Zaitsev, S. Yu. (2010). *Supramolekulyarnye nanorazmernyye sistemy na granice razdela faz. Konceptii i perspektivy dlya bionanotekhnologii* [Supramolecular nanoscale systems at the interface. Concepts and perspectives for bionanotechnology]. Lenand.
- Zaitsev, S. Yu., Maksimov, V. I., Milaeva, I. V., & Miller, R. (2007). Investigation of the surface tension of model systems and blood of animals by the method of interfacial tensiometry. *Rossiiskij veterinarnyj zhurnal. Sel'skhozayajstvennyye zhivotnye* [Russian veterinary journal. Farm Animals], (2), 44–46.
- Zaitsev, S. Yu. (2006). *Supramolekulyarnyye sistemy na granice razdela faz kak modeli biomembran i nanomaterialy* [Supramolecular systems at the phase boundary as models of biomembranes and nanomaterials]. Nord computer.
- Zarudnaya, E. V., Maksimov, V. I., Zaitsev, S. Yu., & Dovzhenko, N. A. (2010). Study of the surface tension of animal blood serum using model systems. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy mediciny im I.E. Bauman* [Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine named after I.E. Bauman], 203, 96–100.
- Zarudnaya, E. V., Maksimov, V. I., & Zaitsev, S. Yu. (2011). Possibilities of the method of interfacial tensiometry for zootechnics. *Zootekhnika* [Zootechnics], (6), 21–22.
- Kazakov, V. N., Miller, R., & Sinyachenko, O. V. (1997). Dynamic interfacial tensiometry is a new method for studying human biological fluids. *Vestnik novykh medicinskih tekhnologij* [Bulletin of new medical technologies], 4(4), 100–103.
- Kazakov, V. N., Sinyachenko, O. V., & Fainerman, V. B. (1996). Dynamic surface tension of biological fluids in healthy people. *Arhiv klinicheskoy eksperimental'noj mediciny* [Archives of Clinical Experimental Medicine], 5(1), 3–6.
- Kazakov, V. N., Sinyachenko, O. V., & Ignatenko, G. A. (2003). *Mezhfaznaya tenziometriya biologicheskikh zhidkostey v terapii* [Interfacial tensiometry of biological fluids in therapy]. Donechchina.
- Kazakov, V. N., Sinyachenko, O. V., & Postovaya, M. V. (1998). Interfacial tensiometry of biological fluids: Issues of theory, methods and prospects for use in medicine. *Arhiv klinicheskoy eksperimental'noj mediciny* [Archives of Clinical Experimental Medicine], 7(1), 5–12.
- Kazakov, V. N. (2000). *Mezhfaznaya tenziometriya i reometriya biologicheskikh zhidkostey v terapevticheskoy praktike* [Interfacial tensiometry and rheometry of biological fluids in therapeutic practice]. Med. Universitet.
- Kazakov, V. N., Vozianov, A. F., & Sinyachenko, O. V. (1999). Factors affecting dynamic interfacial blood and urine tensiograms in healthy individuals. *Arhiv klinicheskoy eksperimental'noj mediciny* [Archives of Clinical Experimental Medicine], 8(8) 19–24.
- Krylov, A. B. (2008). *Poverhnostnoye natyazhenie i svyazaniye s nim yavleniya* [Surface tension and related phenomena]. BGMU.
- Lysov, V. F., & Maksimov, V. I. (2004). *Osnovy fiziologii i etologii zhivotnykh* [Fundamentals of physiology and ethology of animals]. Colossus.
- Maksimov, V. I., Zaitsev, S. Yu., Milayeva, I. V., Kozlov, S. A., & Miller, R. (2006). Features of some physiological parameters of blood serum of horses in connection with sex and age. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy mediciny* [Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine], 185, 208–213.
- Milayeva, I. V., Maksimov, V. I., Zaitsev, S. Yu., & Dovzhenko, N. A. (2010). Features of physiological and biochemical parameters of blood serum of cattle in connection with age. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy mediciny* [Scientific notes of the Kazan State Academy of Veterinary Medicine], 201, 263–266.

- Milayeva, I. V., Zaitsev, S. Yu., Maksimov, V. I., Kozlov, S. A., & Miller, R. (2006). The study of the surface tension of the blood serum of horses. *Rossiiskij veterinarnyj zhurnal. Sel'skohozyajstvennye zhivotnye* [Russian veterinary journal. Farm Animals], (3), 26–27.
- Potapov, V. V., Moiseeva, I. Ya., Zenin, O. K., Makievsky, A., & Zaitsev, S. Yu. (2021). Connection of acquired valvular pathology of the heart of people with changes in the values of physicochemical parameters of blood serum. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Povolzhskij region* [News of higher educational institutions. Volga region], 60(4), 152–160.
- Rusanov, A. I., & Prokhorov, V. A. (1994). *Mezhfaznaya tenziometriya* [Interfacial tensiometry]. Himiya.
- Fadeev, A. S., Yampolskaya, G. P., Levachev, S. M., & Zaitsev, S. Yu. (2008). Denaturation of collagen monolayers at the water-air interface: simulation of the process. *Biologicheskie membrany* [Biological membranes], 25(2), 142–154.
- Khazipov, N. Z., Askarova, A. N., & Tyurikova, R. P. (2010). *Biohimiya zhivotnykh s osnovami fizkolloidnoj himii* [Animal biochemistry with fundamentals of physical colloid chemistry]. Colossus.
- Khomutov, E. V., Dmitriev, L. S., Potapov, V. V., Zenin, O. K., & Zaitsev, S. Yu. (2022). Adsorption characteristics of low molecular weight blood components in patients with heart failure. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya (Seriya Fizika)* [News of the Saratov University. New Series (Physics Series)], 22, 244–253.
- Tsarkova, M. S., Milaeva, I. V., & Zaitsev, S. Yu. (2017). Colloid-chemical regression model in the analysis of the relationship between dynamic surface tension and the content of total protein and albumin in the blood. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2: Himiya* [Bulletin of Moscow University. Series 2: Chemistry], 58(5), 267–271.
- Butler, C. M., & Foty, R. A. (2011). Measurement of aggregate cohesion by tissue surface tensiometry. *Journal of Visualized Experiments*, 50, 27–39. <https://doi.org/10.3791/2739>
- Campbell, M. K., & Farrell, Sh. O. (2010). *Biochemistry*. (7 th ed.). Nelson Education Ltd.
- Chen, P., Kwok, D. Y., & Prokop, R. M. (1998). Axisymmetric drop shape analysis (ADSA) and its application. In D. Mobius & R. Miller (Eds.) *Drops and Bubbles in Interfacial Science. Studies in Interface Science*. V. 6, (pp. 61–138). Elsevier.
- Chen, P., Prokop, R. M., & Susnar, S. S. (1998). Interfacial tensions of protein solutions using axisymmetric drop shape analysis. In D. Mobius & R. Miller (Eds.) *Proteins at Liquid Interfaces. Studies in Interface Science*. V. 7 (pp. 303–339). Elsevier.
- Clark, D. C., Husband, F., & Wilde, P. J. (1995). Evidence of extraneous surfactant adsorption altering adsorbed layer properties of β -lactoglobulin. *Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions*, 91(13), 1991–1996.
- Dan, A., Gochev, G., & Miller, R. (2015). Tensiometry and dilational rheology of mixed β -lactoglobulin/ionic surfactant adsorption layers at water/air and water/hexane interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 449, 383–391. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.01.035>
- De Brito, A. K., Nordin, C. S., & Caseli, L. (2015). Algal polysaccharides as matrices for the immobilization of urease in lipid ultrathin films studied with tensiometry and vibrational spectroscopy: Physical-chemical properties and implications in the enzyme activity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 135, 639–645. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.08.033>
- Derde, M., Nau, F., & Lechevalier, V. (2015). Native lysozyme and dry-heated lysozyme interactions with membrane lipid monolayers: lateral reorganization of LPS monolayer, model of the Escherichia coli outer membrane. *Biochimica et Biophysica Acta. Part A*, 1848(1), 174–183. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2014.10.026>Get rights and content
- Dixit, N., Zeng, D. L., & Kalonia, D. S. (2012). Application of maximum bubble pressure surface tensiometer to study protein-surfactant interactions. *International Journal of Pharmaceutics*, 439(1–2), 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.09.013>
- Douillard, R., Daoud, M., & Lefebvre, J. (1994). State Equation of β -casein at the air/water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 163, 277–288.
- Fainerman, V. B., Miller, R., & Makievski, A. V. (2004). Accurate analysis of the bubble formation process in maximum bubble pressure tensiometry. *Review of Scientific Instruments*, 75, 213–221.
- Fainerman, V. B., Mys, V. D., Makievski, A. V., & Miller, R. (2006). Application of the maximum bubble pressure technique for dynamic surface tension studies of surfactant solutions using the Sugden two-capillary method. *Journal of colloid and interface science*, 304(1), 222–225. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.08.023>
- Fainerman, S. A., Zholob, M., Leser, K., & Miller, R. (2004). Competitive adsorption from mixed nonionic surfactant/protein solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 274, 496–501. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.12.057>
- Fainerman, V. B., Mys, V. D., Makievski, A. V., & Miller, R. (2004). Correction for the aerodynamic resistance and viscosity in maximum bubble pressure tensiometry. *Langmuir*, 20, 1721–1723.
- Fainerman, V. B., Kazakov, V. N., Lylyk, S. V., & Makievski, A. V. (2004). Dynamic surface tension measurements of surfactant solutions using the maximum bubble pressure method – limits of applicability. *Colloids & Surfaces A*, 250, 97–102. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.01.041>

- Fainerman, V. B., Mys, V. D., Makievski, A. V., & Miller, R. (2006). Dynamic surface tension of micellar solutions in the millisecond and submillisecond time range. *Journal of Colloid and Interface Science*, 302, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2006.06.029>
- Fainerman, V. B., & Miller, R. (1995). Dynamic surface tension of surfactant mixture at the water-air interface. *Colloids and Surfaces A*, 97, 65–82.
- Fainerman, V. B., & Miller, R. (2004). Maximum bubble pressure tensiometry--an analysis of experimental constraints. *Advances in colloid and interface science*, 108–109, 287–301. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2003.10.010>
- Fathi-Azarbayjani, A., & Jouyban, A. (2015). Surface tension in human pathophysiology and its application as a medical diagnostic tool. *BioImpacts*, 5(1), 29–44. <https://doi.org/10.15171/bi.2015.06>
- Ferri, J. K., Lin, S. Y., & Stebe, K. J. (2001). Curvature effects in the analysis of pendant bubble data: Comparison of numerical solutions, asymptotic arguments, and data. *Journal of Colloid and Interface Science*, 241, 154–168. <https://doi.org/10.1006/jcis.2001.7737>
- Garrett, R. H., & Grisham, Ch. M. (2005). *Biochemistry*. Thomson Learning.
- Generalova, A. N., Marchenko, S. B., Gorokhova, I. V., Miller, R., Gurevich, I. V., Tsarkova, M. S., Maksimov, V. I., & Zaitsev, S. Yu. (2007). Advantages of interfacial tensiometry for studying the interactions of biologically active compounds. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 298, 88–93.
- Grigoriev, D. O., Fainerman, V. B., & Makievski, A. V. (1996). β -casein bilayer adsorption at the solution/air interface: Experimental evidences and theoretical description. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 114, 245–254.
- Hansen, F. K., & Myrvold, R. (1995). The kinetics of albumin adsorption to the air/water interface measured by automatic axisymmetric drop shape analysis. *Journal of Colloid and Interface Science*, 176, 408–417.
- Hrncir, E., & Rosina, J. (1997). Surface tension of blood. *Physiological Research*, 46(4), 319–321.
- Kaneko, J. J., Harvey, J. W., & Bruss, M. L. (2008). *Clinical biochemistry of domestic animals*. Elsevier.
- Kazakov, V. N., Vozianov, A. F., Sinyachenko, O. V., Trukhin, D. V., Kovalchuk, V. I., & Pison, U. (2000). Studies on the application of dynamic surface tensiometry of serum and cerebrospinal liquid for diagnostics and monitoring of treatment in patients who have rheumatic, neurological or oncological diseases. *Advances in Colloid and Interface Science*, 86(1–2), 1–38.
- Kazakov, V. N., Sinyachenko, O. V., Fainerman, V. B., Pison, U., & Miller, R. (2000). Dynamic surface tension of biological liquids in medicine. In D. Möbius & R. Miller, (Eds.), *Studies in Interface Science v.8* (pp.34–56), Elsevier.
- Kratochvil, A., & Hrncir, E. (2001). Correlation between the blood surface tension and the activity of some enzymes. *Physiological Research*, 50(4), 433–437.
- Krishnan, A., Wilson, A., Sturgeon, J., Siedlecki, C. A., & Vogler, E. A. (2005). Liquid-vapor interfacial tension of blood plasma, serum and purified protein constituents thereof. *Biomaterials*, 26(17), 3445–3453.
- Makievski, A. V., Miller, R., & Fainerman, V. B. (1999). Adsorption of Proteins at the Liquid/Air and Liquid/Oil Interfaces as Studied by the Pendant Drop Method. *Food Emulsions and Foams*, 1, 269–284.
- Makievski, A. V., Miller, R., & Fainerman, V. B. (1997). Determination of equilibrium surface tension value by extrapolation via long time approximation. *Colloids and Surfaces A*, 122, 269–273.
- Mikaelyan, M. S. (2014). Influence of EMI EHF on plasma surface tension of rat blood. *Proceedings of the Yerevan State University, Chemistry and Biology*, 48(3), 24–28. <https://doi.org/10.46991/PYSU:B/2014.48.3.024>
- Miller, R., Grigoriev, D. O., & Kragel, J. (2005). Experimental studies on the desorption of adsorbed proteins from liquid interfaces. *Food Hydrocolloids*, 19, 479–483.
- Miller, R., Policova, Z., & Sedev, R. (1993). Relaxation behavior of human albumin adsorbed at the solution/air interface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 76, 179–185.
- Miller, R., Aksenenko, V. B., Fainerman, V. B., & Pison, U. (2001). Kinetics of adsorption of globular proteins at liquid/fluid interfaces. *Colloids Surfaces A*, 183, 381–390.
- Möbius, D., & Miller, R. (2001). Novel Methods to Study Interfacial Layers. In D. Möbius & R. Miller, (Eds.), *Studies in Interface Science v.11* (pp.234–268). Elsevier.
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2005). *Lehninger principles of biochemistry*. 4 ed. W.H. Freeman and Company.
- Nikolov, A. D., & Wasan, D. T. (2004). A novel method to study particle–air/liquid surface interactions. *Colloids and Surfaces A*, 250, 89–95. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.05.027>
- Niño, M. R. R., & Patino, J. M. R. (1998). Surface tension of bovine serum albumin and tween-20 at the air–aqueous interface. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 75(10), 1241–1248.
- Noskov, B. A., & Loglio, G. (1998). Dynamic surface elasticity of surfactant solutions. *Colloids and Surfaces A*, 143, 167–183. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(98\)00263-5](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(98)00263-5)
- Noskov, B. A. (2002). Kinetics of adsorption from micellar solutions. *Advances in colloid and interface science*, 95(2–3), 237–293. [https://doi.org/10.1016/s0001-8686\(00\)00085-3](https://doi.org/10.1016/s0001-8686(00)00085-3)

- Paulsson, M., & Dejmek, P. (1992). Surface film pressure of β -Lactoglobulin, α -Lactalbumin and BSA at the air/water interface studied by Wilhelmy plate and drop volume. *Journal of Colloid and Interface Science*, 150, 394–403. [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(92\)90209-5](https://doi.org/10.1016/0021-9797(92)90209-5)
- Pitois O., Fritz C., & Vignes-Adler, M. (2005). Liquid drainage through aqueous foam: study of the flow on the bubble scale. *Journal of Colloid and Interface Science*, 282, 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.187>
- Robertson, B., Van Golde, L. M. G., & Batenburg, J. J. (1992). *Pulmonary surfactant: From molecular biology to clinical practice*. Elsevier.
- Robertson, B., & Tlusch, H. W. (1995). *Surfactant therapy for lung disease*. Marcel Dekker Inc.
- Rosina, J., Kvasnák, E., Suta, D., Kolárová, H., Málek, J., & Krajci, L. (2007). Temperature dependence of blood surface tension. *Physiological research*, 56, 93–98. <https://doi.org/10.33549/physiolres.931306>
- Sandev, N., Zapryanova, D., Stoycheva, I., Rusenova, N., & Mircheva, T. (2013). Investigation of some haematological and blood biochemical parameters in cattle spontaneously infected with bovine leukosis virus. *Macedonian Veterinary Review*, 36(2), 107–110.
- Serrien, G., Geeraerts, G., & Ghosh, L. (1992). Dynamic surface properties of adsorbed protein solutions: BSA, casein and buttermilk. *Colloids and Surfaces*, 68, 219–233. [https://doi.org/10.1016/0166-6622\(92\)80208-J](https://doi.org/10.1016/0166-6622(92)80208-J)
- Zaitsev, S. Yu. (2015). Application of the correlations between the interfacial tensiometry and biochemical parameters of the animal blood for comprehensive diagnostics. *FEBS journal*, 282, 192.
- Zaitsev, S. Yu., Maximov, V. I., Milaeva, I. V., Zarudnaya, E. N., & Miller R. (2011). Dynamic Tensiometry as Express-Method for Horse Blood. *International Journal of Medical and Biological Frontiers*, 17(4–5), 377–384.
- Zaitsev, S. Yu., Milaeva, I. V., Zarudnaya, E. N., & Maximov, V. I. (2011). Investigation of dynamic surface tension of biological liquids for animal blood diagnostics. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 383, 109–113.
- Zaitsev, S. Yu. (2016). Dynamic surface tension measurements as general approach to the analysis of animal blood plasma and serum. *Advances in Colloid and Interface Science*, 235, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2016.06.007>
- Zaitsev, S. Y., Bogolyubova, N. V., Zhang, X., & Brenig, B. (2020). Biochemical parameters, dynamic tensiometry and circulating nucleic acids for cattle blood analysis: a review. *PeerJ*, 8, e8997. <https://doi.org/10.7717/peerj.8997>
- Zaitsev, S. Y., & Solovyeva, D. O. (2015). Supramolecular nanostructures based on bacterial reaction center proteins and quantum dots. *Advances in Colloid and Interface Science*, 218, 34–47. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2015.01.006>
- Zaitsev, S. Yu., Solovyeva, D. O., & Zaitsev, I. S. (2015) Multifunctional membranes based on photosensitive crown-ether derivatives with advanced properties. *Advances in Colloid and Interface Science*, 222, 755–764. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.09.007>