

И. В. Кузнецова, В. В. Потапов,
Е. К. Шраменко, О. К. Зенин, А. С. Кузнецов

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ И ДИЛАТАЦИОННАЯ ВЯЗКОУПРУГОСТЬ СЫВОРОТКИ КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА, ОПЕРИРОВАННЫХ В УСЛОВИЯХ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ

Аннотация.

Актуальность и цели. Целью исследования является изучение поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови у пациентов с ишемической болезнью сердца, оперированных в условиях искусственного кровообращения.

Материалы и методы. У 27 пациентов с ишемической болезнью сердца в возрасте $62,1 \pm 0,9$ года выполнены оперативные вмешательства с целью реваскуляризации миокарда в условиях искусственного кровообращения. Проведено проспективное исследование поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови с использованием методов формы капли и пузырька (тензиометры PAT-1 и PAT-2 SINTERFACE Technologies, Берлин, Германия). Забор крови для исследования производился за 1 ч до операции, через 12 ч (1-е сут и на 7-е сут после операции). Из рутинных биохимических показателей крови анализировали реологически активные маркеры: уровень глюкозы, общего белка, альбумина, мочевины и креатинина.

Результаты. На 1-е сут после операции отмечалось статистически значимое увеличение уровней глюкозы, мочевины и креатинина и статистически достоверное снижение уровня общего белка и альбумина. На этом фоне характер изменения показателей поверхностного натяжения и модуля вязкоупругости свидетельствовал о существенном увеличении содержания в сыворотке крови поверхностно активных веществ. К 7-м сут послеоперационного периода отмечена положительная динамика изучаемых биохимических показателей, но при этом модуль вязкоупругости E при частотах 0,1 и 0,01 Гц был статистически достоверно выше дооперационного уровня.

Выводы. Патологические отклонения со стороны влияющих на вязкость крови ее биохимических показателей (глюкозы, мочевины, креатинина и альбумина) сопровождаются значительным изменением параметров поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови. Однако определяемые биохимические маркеры не являются доминирующими предикторами в изменении рео- и тензиометрических свойств крови.

Ключевые слова: дилатационная вязкоупругость, ишемическая болезнь сердца.

И. В. Кузнецова, В. В. Потапов,
Е. К. Шраменко, О. К. Зенин, А. С. Кузнецов

SURFACE TENSION AND DILATION VISCOELASTICITY OF BLOOD SERUM IN PATIENTS WITH ISCHEMIC HEART DISEASE, OPERATED IN THE CONDITIONS OF ARTIFICIAL BLOOD CIRCULATION

Abstract.

Background. The aim of our research was to study surface tension and dilatation viscoelasticity of blood serum and plasma in patients with ischemic heart disease and valve cardiac pathology, who underwent operations with cardiopulmonary bypass.

Materials and methods. In 27 patients with ischemic heart disease, the average age $62,1 \pm 0,9$, surgical interventions were performed with the aim of myocardial revascularization in cardiopulmonary bypass, the prospective study of surface tension and dilatation viscoelasticity of blood serum and plasma was performed. There were used the methods of drop and bubble form (Tensiometers PAT-1 and PAT-2P SINTERFACE Technologies, Berlin, Germany). The blood for research was sampled an hour before operation, after 12 hours (1-st day) and in 7 days after operation. The rheological active markers (glucose, protein, albumen, urea and creatinine) were choose from routine biochemical parameters to evaluate.

Results. On the first day after operation it was revealed the statistically significant increase in glucose, urea, creatinine levels and statistically significant decrease in protein and albumen levels in both groups. The same time, changes in surface tension markers and viscoelastic modulus showed the significant increase of serum surface active substances. In 7 day, in the both groups, the positive dynamics in biochemical parameters was revealed, but viscoelastic modulus E (frequency $0,1-0,01$ Hz) was statistically higher than before operation.

Conclusion. Pathological changes in biochemical markers which influence blood viscosity (glucose, protein, albumen, urea and creatinine) were accompanied by significant changes in surface tension and dilatation viscoelasticity of blood serum. The same time these biochemical markers are not the dominant predictors of the changes in blood rheology and viscosity.

Keywords: dilatation viscoelasticity, ischemic heart disease.

Введение

Описанная в XIX в. Рудольфом Вирховым триада патогенетических факторов тромбообразования (повреждение сосудистой стенки, активация процессов свертывания крови и снижение скорости кровотока) регулярно подвергается ревизии, в результате чего уточняются представления о конкретных механизмах каждой из составляющих ее компонентов [1–8]. Снижение скорости кровотока – одно из необходимых условий запуска процесса внутрисосудистого тромбообразования. Известно, что на скорость кровотока прямо пропорционально влияют гематокрит и вязкость плазмы. В последние годы отмечается рост интереса к исследованиям межфазных (адсорбционных и реологических) характеристик сыворотки крови при различных патологиях [9–12]. Недостаточно изученной остается динамика изменений реологических свойств сыворотки и плазмы крови у пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, оперированных в условиях искусственного кровообращения. Для пациентов с данной патологией характерно активное ятрогенное вмешательство в систему гемостаза с целью тромбопрофилактики (назначе-

ние антиагрегантов и антикоагулянтов прямого и непрямого действия, инфузионной терапии), последствия которого для гемореологии пациента в литературе освещены недостаточно [12, 13].

Цель исследования: изучение поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС), оперированных в условиях искусственного кровообращения.

Материалы и методы

Исследования поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости с использованием методов формы капли и пузырька были выполнены на тензиометрах PAT-1 и PAT-2 (SINTERFACE Technologies, Берлин, Германия). Методика детально описана ранее [12]. Капля сыворотки крови или плазмы формировалась на вертикальном капилляре с расширяющейся конической (длина 2 мм) внутренней частью торца капилляра с внутренним диаметром торца капилляра 2,96 мм. Внешний диаметр капилляра – 3,0 мм. Площадь капли автоматически поддерживалась в процессе эксперимента постоянной – в пределах 34–36 мм². Экспериментальные исследования дилатационной реологии сыворотки крови проводились после достижения равновесия (1500–2500 с). Эксперименты были выполнены при гармонических осцилляциях площади поверхности капли с амплитудой 6–7 % и частотой от 0,5 до 0,005 Гц. Расчет реологических параметров проводился с помощью преобразования Фурье по программе, использованной в тензиометрах PAT. Дилатационный модуль E характеризует вязкоупругие свойства поверхностных (межфазных) слоев. Модуль определяется как отношение изменения поверхностного натяжения раствора γ к относительному изменению площади поверхности A :

$$E = \frac{d\gamma}{d \ln A}. \quad (1)$$

Дилатационный модуль E (являющийся дилатационной вязкостью) – комплексный показатель, который включает в себя реальную и мнимую компоненты:

$$E = E_r + iE_i, \quad (2)$$

где E_r – реальная часть (отражает накопление энергии в поверхностном слое); E_i – мнимая часть (отражает потери энергии в релаксационных процессах). Выражение (2) можно преобразовать в уравнения для модуля вязкоупругости $|E|$ и фазового угла φ :

$$|E| = \sqrt{E_r^2 + E_i^2}, \quad \varphi = \arctan(E_i/E_r). \quad (3)$$

Отметим, что результаты по методу капли отличаются от реологических показателей для плоской поверхности. Для плоской поверхности при диффузионном механизме адсорбции сурфактанта компоненты модуля определяются уравнениями [13]:

$$E_r(\omega) = E_0 \frac{1 + \zeta}{1 + 2\zeta + 2\zeta^2}, \quad E_i(\omega) = E_0 \frac{\zeta}{1 + 2\zeta + 2\zeta^2}. \quad (4)$$

Параметр $\zeta = \sqrt{\omega_D / 2\omega}$ включает угловую частоту ω и частоту диффузионной релаксации $\omega_D(c) = D \cdot (d\Gamma / dc)^{-2}$. Величина $E_0(c) = -d\gamma / d \ln \Gamma$ – это предельная эластичность, а параметры c , Γ и D – это объемная концентрация, адсорбция и коэффициент диффузии. Уравнения (4) можно записать в другом виде:

$$|E| = E_0(1 + 2\zeta + 2\zeta^2)^{-1/2}, \quad \varphi = \arctg[\zeta / (1 + \zeta)]. \quad (5)$$

Здесь $|E|$ – модуль вязкоупругости; φ – фазовый угол между напряжением ($d\gamma$) и деформацией (dA). Уравнение для сферической капли диаметром D , полученное при адсорбции из объема капли на ее поверхности [14]:

$$E(\omega) = \frac{E_0}{1 + \frac{D}{i\omega R} \frac{dc}{d\Gamma} [nR \coth(nR) - 1]} = E_0 \left\{ 1 - i \frac{D}{\omega R} \frac{dc}{d\Gamma} [nR \coth(nR) - 1] \right\}^{-1}, \quad (6)$$

где $n^2 = i\omega / D$.

Характеристика клинических групп

Исследование проведено у 27 пациентов в возрасте от 49 до 70 лет (средний возраст $62,1 \pm 0,9$ года), которым были выполнены операции по реваскуляризации миокарда (аортокоронарное или аорто-мамарокоронарное шунтирование – от 2 до 4 шунтов). Мужчин – 15, женщин – 12 человек.

Все операции выполнялись в условиях искусственного кровообращения в режиме умеренной гипотермии ($33\text{--}35^\circ\text{C}$). Забор крови для исследования производился за 1 ч до операции, затем через 12 ч после операции (1-е сут) и на 7-е сут после операции.

Из рутинных лабораторных показателей, определяемых в сыворотке крови, анализировали: уровень глюкозы, общего белка, альбумина, мочевины, креатинина и гематокрита. Перечень анализируемых показателей был выбран в связи с известным их влиянием на вязкость крови. Все вышеперечисленные лабораторные анализы проводили на базе клинической лаборатории кардиохирургического отделения Донецкого клинического территориального медицинского объединения с использованием следующего оборудования: анализатор биохимический фотометрический БиАн; анализатор-фотометр биохимический В200; анализатор гематологический BS-3000.

Из параметров, характеризующих дилатационную реологию сыворотки крови, изучали следующие: динамическое поверхностное натяжение при времени адсорбции 100 с, равновесное поверхностное натяжение (время адсорбции 2500 с), модуль вязкоупругости при частотах 0,1 и 0,01 Гц и фазовый угол φ при этих же частотах осцилляций.

Группу контроля составили 17 не имеющих хронических заболеваний и активных жалоб человек в возрасте от 50 до 75 лет (средний возраст $61 \pm 1,0$ год), из них мужчин – 12, женщин – 5. Возраст доноров контрольной группы соответствует возрасту пациентов в исследуемых группах.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью компьютерного анализа (программы Microsoft Excel и Statistica). Оце-

нивали средние значения (M), ошибку среднего (m), медиану (Me), ошибку медианы (m), I и III квартили, критерии (t) Стьюдента (Уилкоксона) и достоверность статистических показателей (p) Стьюдента (Уилкоксона).

Результаты и их обсуждение

Референсные значения и средние показатели изучаемых биохимических маркеров в контрольной группе приведены в табл. 1.

Таблица 1
Параметры биохимического анализа сыворотки крови здоровых людей

Параметр	Глюкоза, ммоль/л	Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Мочевина, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л
Референсные значения	3,3–5,5	65–85	35–50	3,33–8,32	44–106
Контрольная группа, $n = 17$ ($X \pm m$)	$5,47 \pm 1,24$	$74,1 \pm 4,7$	$43,3 \pm 3,1$	$5,01 \pm 1,54$	$73,3 \pm 15,9$

Перед операцией анализируемые биохимические показатели сыворотки крови у больных с ИБС (табл. 2) практически не отличались от значений контрольной группы и укладывались в диапазон референсных значений.

Таблица 2
Динамика анализируемых биохимических показателей сыворотки крови у больных с ИБС

Параметр	Глюкоза, ммоль/л	Общий белок, г/л	Альбумин, г/л	Мочевина, ммоль/л	Креатинин, мкмоль/л
Референсные значения	3,3–5,5	65–85	35–50	3,33–8,32	44–106
Больные до операции ($X \pm m$), $n = 27$	$6,25 \pm 0,6$	$76 \pm 1,2$	$40,25 \pm 1,8$	$7,1 \pm 0,5$	$111,2 \pm 4,7$
1-е сут после операции ($X \pm m$), $n = 27$	$8 \pm 0,5$ $p = 0,012$	$58,8 \pm 1,3$ $p < 0,001$	$33,7 \pm 0,8$ $p < 0,001$	$8,5 \pm 0,5$ $p = 0,015$	$132,6 \pm 6,2$ $p < 0,001$
7-е сут после операции ($X \pm m$), $n = 27$	$6,5 \pm 0,5$	$63,5 \pm 2,8$ $p < 0,001$	$33,5 \pm 1,2$ $p = 0,016$	$9,5 \pm 0,8$ $p = 0,009$	$111,8 \pm 16,7$ $p = 0,019$

Примечание. * p – достоверность отличий показателей по отношению к дооперационному периоду.

На 1-е сут после операции по реваскуляризации миокарда отмечалось статистически значимое увеличение уровня глюкозы, мочевины и креатинина и статистически достоверное снижение уровня общего белка и альбумина (табл. 2). Характер этих изменений свидетельствует о наличии в раннем послеоперационном периоде почечной дисфункции (уремия), активации стресс-активирующих систем (гипергликемия) и системного воспаления (гипоальбу-

ниения). Кроме того, к гипоальбуминемии приводит связанная с кровопотерей и ее восполнением интра- и послеоперационная гемодилюция.

К 7-м сут послеоперационного периода в обеих группах отмечается положительная динамика изучаемых биохимических показателей. Однако, несмотря на позитивные тенденции, уровень анализируемых показателей достоверно не достигал предоперационных «нормальных» значений.

При исследовании показателей поверхностного натяжения и модуля вязкоупругости сыворотки крови у пациентов выявлены значительные изменения.

В табл. 3 показаны результаты тензиометрических и реологических исследований сыворотки крови здоровых людей и больных до и после операции.

Таблица 3

Сравнение параметров сыворотки крови
группы больных с ИБС и контрольной группы *

Параметры	γ , 100с, мН/м ($Me \pm m$) (25 %; 75 %)	γ^∞ , мН/м ($Me \pm m$) (25 %; 75 %)	E 0,1 Гц, мН/м ($Me \pm m$) (25 %; 75 %)	E 0,01 Гц, мН/м ($Me \pm m$) (25 %; 75 %)	ϕ 0,1 Гц, град. ($Me \pm m$) (25 %; 75 %)	ϕ 0,01 Гц, град. ($Me \pm m$) (25 %; 75 %)
Контрольная группа, $n = 17$	$51 \pm 0,7$ (48; 51,9)	$45,6 \pm 0,4$ (44,2; 46,5)	$30,3 \pm 0,9$ (27,8; 31,3)	$15 \pm 1,1$ (13,7; 17,8)	$21 \pm 0,8$ (19; 22)	$33 \pm 1,3$ (30; 37)
Больные до операции, $n = 27$	$44 \pm 0,3$ (43,5; 44,6) $p_1 < 0,001$	$38,7 \pm 0,6$ (37,9; 42,1) $p_1 < 0,001$	$28,4 \pm 2,0$ (13; 30,9)	$15,4 \pm 1,1$ (8,3; 17,4)	$19,8 \pm 0,9$ (16; 22)	$29,4 \pm 1,2$ (26; 31,1) $p_1 = 0,004$
1-е сут после операции, $n = 27$	$44,5 \pm 0,1$ (43,8; 44,8) $p_1 < 0,001$ $p_2 = 0,030$	$38,9 \pm 0,5$ (37,8; 41,7) $p_1 < 0,001$	$31,8 \pm 2,3$ (13,6; 33,5) $p_2 < 0,001$	$18,1 \pm 1,2$ (9,5; 19,2) $p_2 = 0,001$	$18,9 \pm 0,7$ (16,2; 19,6) $p_1 = 0,003$ $p_2 = 0,030$	$28,1 \pm 1,2$ (23,7; 29,9) $p_1 < 0,001$ $p_2 = 0,019$
7-е сут после операции, $n = 27$	$44,5 \pm 0,4$ (44; 45) $p_1 < 0,001$	$38,6 \pm 0,6$ (37,7; 42) $p_1 < 0,001$	$31 \pm 2,3$ (14; 34) $p_2 = 0,001$	$17,3 \pm 1,3$ (8,9; 20,2) $p_2 < 0,001$	$18 \pm 0,9$ (17; 20,2) $p_1 = 0,019$	$28,2 \pm 1,2$ (25,9; 31,3) $p_1 = 0,02$

Примечание. * p_1 – достоверность отличий показателей по отношению к контрольной группе; p_2 – достоверность отличий показателей по отношению к дооперационному периоду.

Как видно из табл. 3, почти все анализируемые тензиометрические параметры сыворотки пациентов (кроме ϕ при частоте 0,1 Гц) как в до-, так и в послеоперационном периодах достоверно отличаются от показателей здоровых людей.

Результаты исследования тензиометрических и дилатационных вязкоупругих свойств сыворотки крови у больных, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о статистически достоверном отличии почти всех анализируемых параметров (кроме модуля вязкоупругости $|E|$ при частотах 0,1 Гц и 0,01 Гц) от таковых для здоровых людей.

Следует отметить значительное изменение поверхностного натяжения у больных в 1-е сут после операции. Как динамическое при 100 с, так и равновесное поверхностное натяжение уменьшаются на 6–7 мН/м. Это свидетель-

ствуется о существенном увеличении содержания в сыворотке больных поверхностно-активных веществ. Их природа пока точно неизвестна, но из изученных биохимических показателей сыворотки крови статистически значимый рост концентрации мочевины и креатинина способен увеличить поверхностную активность альбумина. В то же время однозначно этот факт трудно объяснить с учетом достоверного ($p < 0,001$) снижения содержания альбумина на протяжении всего послеоперационного периода.

Заключение

Показатели поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови у пациентов с заболеваниями сердечно-сосудистой системы отличаются от таковых у здоровых добровольцев. Отмечается статистически достоверное снижение равновесного и динамического поверхностного натяжения по сравнению с контрольной группой, что свидетельствует об увеличении количества поверхностно-активных веществ. Патологические отклонения со стороны влияющих на вязкость крови биохимических показателей (глюкозы, мочевины, креатинина и альбумина) сопровождаются значительным изменением параметров поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости сыворотки крови, однако четкой линейной зависимости между этими процессами не установлено.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения роли равновесного и динамического поверхностного натяжения и дилатационной вязкоупругости параметров сыворотки крови и их возможной связи с развитием послеоперационных осложнений у пациентов, оперированных на сердце в условиях искусственного кровообращения. В дальнейшем изучении нуждается также характер влияния на реологические свойства крови стандартно применяемые тромبوпрофилактические средства.

Библиографический список

1. **Литвицкий, П. Ф.** Патопфизиология : в 2 т. / П. Ф. Литвицкий. – Москва : ГЭОТАР. – Медиа, 2014. – Т. 2. – 794 с.
2. **Гринь, В. К.** Поражение сосудов при ишемической болезни сердца / В. К. Гринь, Т. В. Аникеева, О. В. Синяченко. – Донецк : Изд-во ИНВХ, 2011. – 150 с.
3. **Калашников, В. Ю.** Использование клинико-экономического анализа при выборе методов диагностики ишемической болезни сердца / В. Ю. Калашников, С. Н. Митрягина, А. Л. Сыркин, М. Г. Полтавская // Терапевтический архив. – 2008. – Т. 80, № 4. – С. 8–11.
4. **Bravata, D. M.** Systematic review: the comparative effectiveness of percutaneous coronary interventions and coronary artery bypass graft surgery / D. M. Bravata, A. L. Gienger, K. M. McDonald // Ann Intern Med. – 2007. – Vol. 147 (10). – P. 703–716.
5. **Shishehbor M. H.** A Direct Comparison of Early and Late Outcomes with Three Approaches to Carotid Revascularization and Open Heart Surgery / M. H. Shishehbor, S. Venkatachalam, Z. Sun // J Am Coll Cardiol. – 2013. – Vol. 62 (21). – P. 1948–1956.
6. **Dormandy, J. A.** Medical and engineering problems of blood viscosity / J. A. Dormandy // Biomed. Eng. – 1974. – Vol. 9, № 27. – P. 284–291.
7. **Визир, В. А.** Аполипопротеины как маркеры кардиоваскулярного риска / В. А. Визир, А. Е. Березин // Украинский медицинский журнал. – 2008. – Т. 68, № 6. – С. 53–61.

8. **Шляхто, Е. В.** Реологические свойства крови и функция эндотелия у больных гипертонической болезнью / Е. В. Шляхто, О. М. Моисеева, Е. А. Лясникова // Кардиология. – 2004. – Т. 44, № 4. – С. 20–23.
9. Liquid–vapor interfacial tension of blood plasma, serum and purified protein constituents thereof. / K. Anandi, W. Arwen, S. Jacqueline, A. Christopher Siedlecki, A. Erwin Vogler // *Biomaterials*. – 2005. – Vol. 26, № 17. – P. 3445–3453.
10. **Kazakov, V. N.** Dynamic surface tensiometry in medicine / V. N. Kazakov, O. V. Sinyachenko, V. B. Fainerman, R. Miller. – Amsterdam : Elsevier, 2000. – 373 p.
11. Interfacial Rheology of Biological Liquids: Application in Medical Diagnostics and Treatment Monitoring / V. N. Kazakov, V. M. Knyazevich, O. V. Sinyachenko, V. B. Fainerman and R. Miller // *Interfacial Rheology. Vol. 1. Progress in Colloid and Interface Science* / R. Miller and L. Liggieri (eds.). – Leiden : Brill Publ, 2009. – P. 519–566.
12. Dilation rheology as medical diagnostics of human biological liquids / V. N. Kazakov, E. L. Barkalova, L. A. Levchenko, T. M. Klimenko, V. B. Fainerman, R. Miller // *Colloids and Surfaces A*. – 2011. – Vol. 391. – P. 190–194.
13. **Zholob, S. A.** Optimisation of calculation methods for determination of surface tensions by drop profile analysis tensiometry / S. A. Zholob, A. V. Makievski, R. Miller and V. B. Fainerman. // *Adv. Colloid Interface Sci.* – 2007. – Vol. 134–135. – P. 322–329.
14. **Lucassen, J.** Damping of waves on monolayer-covered surfaces: II. Influence of bulk-to-surface diffusional interchange on ripple characteristics / J. Lucassen, R. S. Hansen // *J. Colloid Interface Sci.* – 1967. – Vol. 23. – P. 319–328.

References

1. Litvitskiy P. F. *Patofiziologiya: v 2 t.* [Morbid physiology: in 2 volumes]. Moscow: GEOTAR. Media, 2014, vol. 2, 794 p. [In Russian]
2. Grin' V. K., Anikeeva T. V., Sinyachenko O. V. *Porazhenie sosudov pri ishemicheskoy bolezni serdtsa* [Vascular affection at ischemic heart disease]. Donetsk: Izd-vo INVKh, 2011, 150 p. [In Russian]
3. Kalashnikov V. Yu., Mityagina S. N., Syrkin A. L., Poltavskaya M. G. *Terapevticheskii arkhiv* [Therapeutic archive]. 2008, vol. 80, no. 4, pp. 8–11. [In Russian]
4. Bravata D. M., Gienger A. L., McDonald K. M. *Ann Intern Med.* 2007, vol. 147 (10), pp. 703–716.
5. Shishehbor M. H. A., Venkatachalam S., Sun Z. *J Am Coll Cardiol.* 2013, vol. 62 (21), pp. 1948–1956.
6. Dormandy J. A. *Biomed. Eng.* 1974, vol. 9, no. 27, pp. 284–291.
7. Vizir V. A., Berezin A. E. *Ukrainskiy meditsinskiy zhurnal* [Ukrainian medical journal]. 2008, vol. 68, no. 6, pp. 53–61. [In Russian]
8. Shlyakhto E. V., Moiseeva O. M., Lysanikova E. A. *Kardiologiya* [Cardiology]. 2004, vol. 44, no. 4, pp. 20–23. [In Russian]
9. Anandi K., Arwen W., Jacqueline S., A. Christopher Siedlecki, A. Erwin Vogler *Biomaterials*. 2005, vol. 26, no. 17, pp. 3445–3453.
10. Kazakov V. N., Sinyachenko O. V., Fainerman V. B., Miller R. *Dynamic surface tensiometry in medicine*. Amsterdam: Elsevier, 2000, 373 p.
11. Kazakov V. N., Knyazevich V. M., Sinyachenko O. V., Fainerman V. B. and Miller R. *Interfacial Rheology. Vol. 1. Progress in Colloid and Interface Science*. Leiden: Brill Publ, 2009, pp. 519–566.
12. Kazakov V. N., Barkalova E. L., Levchenko L. A., Klimenko T. M., Fainerman V. B., Miller R. *Colloids and Surfaces A*. 2011, vol. 391, pp. 190–194.

13. Zholob S. A., Makievski A. V., Miller R. and Fainerman V. B. *Adv. Colloid Interface Sci.* 2007, vol. 134–135, pp. 322–329.
14. Lucassen J., Hansen R. S. *J. Colloid Interface Sci.* 1967, vol. 23, pp. 319–328.
-

Кузнецова Ирина Вадимовна

доктор медицинских наук, профессор,
кафедра анестезиологии, интенсивной
терапии и медицины неотложных
состояний ФИПО, Донецкий
национальный медицинский университет
имени М. Горького (Украина, г. Донецк,
пр. Ильича, 16)

E-mail: reanim@dsmu.edu.ua

Потанов Владимир Владимирович

аспирант, Донецкий национальный
медицинский университет имени
М. Горького (Украина, г. Донецк,
пр. Ильича, 16)

E-mail: reanim@dsmu.edu.ua

Шраменко

Екатерина Константиновна

доктор медицинских наук, доцент,
кафедра анестезиологии, интенсивной
терапии и медицины неотложных
состояний ФИПО, Донецкий
национальный медицинский университет
имени М. Горького (Украина, г. Донецк,
пр. Ильича, 16)

E-mail: reanim@dsmu.edu.ua

Зенин Олег Константинович

доктор медицинских наук, профессор,
кафедра анатомии человека,
Медицинский институт, Пензенский
государственный университет (Россия,
г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: zen.olegz@gmail.com

Кузнецов Александр Сергеевич

доктор медицинских наук, профессор,
заведующий отделением кардио-
и рентгеноваскулярной хирургии,
Донецкое клиническое территориальное
медицинское объединение (Украина
г. Донецк, пр. Ильича, 14)

E-mail: kouznetsov2@gmail.com

Kuznetsova Irina Vadimovna

Doctor of medical sciences, professor,
sub-department of anesthesiology, intensive
care and emergency medicine, Donetsk
National Medical University named after
M. Gorky (16 Ilyicha avenue, Donetsk,
Ukraine)

Potapov Vladimir Vladimirovich

Postgraduate student, Donetsk National
Medical University named after M. Gorky
(16 Ilyicha avenue, Donetsk, Ukraine)

Shramenko

Ekaterina Konstantinovna

Doctor of medical sciences, associate pro-
fessor, sub-department of anesthesiology,
intensive care and emergency medicine,
Donetsk National Medical University
named after M. Gorky (16 Ilyicha avenue,
Donetsk, Ukraine)

Zenin Oleg Konstantinovich

Doctor of medical sciences, professor,
sub-department of human anatomy,
Medical Institute, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Kuznetsov Aleksandr Sergeevich

Doctor of medical sciences, professor,
head of cardio and X-ray vascular surgery
unit, Donetsk Clinical Territorial Medical
Association (14 Ilyicha avenue, Donetsk,
Ukraine)

Образец цитирования:

Поверхностное натяжение и дилатационная вязкоупругость сыворотки крови у пациентов с ишемической болезнью сердца, оперированных в условиях искусственного кровообращения / И. В. Кузнецова, В. В. Потапов, Е. К. Шраменко, О. К. Зенин, А. С. Кузнецов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2019. – № 3 (51). – С. 140–149. – DOI 10.21685/2072-3032-2019-3-13.